

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACION DE NUEVE PROCEDENCIAS DE  
Gmelina arborea (Roxb) EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del  
Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias  
Agrícolas y Naturales de la Universidad de Costa Rica y el  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,  
para optar al grado de:

Magister Scientiae

por

JUVENAL VALERIO G

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

PROGRAMA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

TURRIALBA, COSTA RICA

1986

## DEDICATORIA

A la memoria de mi padre

## Agradecimientos

El autor expresa su sincero agradecimiento a las siguientes personas y entidades:

A David Boshier, M.Sc., profesor consejero y amigo, por su constante estímulo para que yo concluyera mi trabajo.

A John R. Palmer, M.A., por el interés personal puesto en las primeras etapas de este trabajo, antes que la estulticie prevaleciente hiciera que el Centro perdiera a tan valioso técnico.

A los profesores Gustavo Enriquez, Ph.D.; Pedro Ferreira, Ph.D.; Rodolfo Salazar, D.Phil. y Asafaw Tewolde, Ph.D.; miembros del tribunal, por su apoyo y consejo en las diferentes etapas de este trabajo y por la prontitud y esmero con que revisaron el borrador de este trabajo.

A José Francisco Di Stefano, Ph.D., Director del Programa de Posgrado por la amistad que siempre encontré en el y por la valiosa ayuda en la redacción final de este documento.

A Francisco Lega, Ing.For., por su constante disposición de ayuda.

A Luis Sánchez, por su invaluable ayuda en el trabajo de campo.

A Rita Aguilar, por el cariño y esmero puestos en la realización de este documento.

A la Administración para el Desarrollo en Ultramar del Reino Unido, ODA, por el apoyo técnico.

A la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), por el apoyo económico.

A la empresa Scott Paper por su aporte en la investigación forestal y en particular por suministrar el terreno para el ensayo.

## BIOGRAFIA

El autor nació en Turrialba, Costa Rica, en 1951, concluyó los estudios primarios en la Escuela Mariano Cortez de Turrialba y la secundaria en el Liceo José Joaquín Vargas Calvo, San Pedro de Montes de Oca, en 1968.

De 1969 a 1976 cursó estudios universitarios en la Universidad de Costa Rica. Recibe el título de Bachiller en Ciencias Agronómicas con énfasis en Fitotecnia en 1982.

Durante el año de 1983 trabaja como auxiliar en la Cátedra de Anatomía Vegetal del Departamento de Biología en la UCR.

Desde 1974 y hasta 1977 trabaja en la Dirección General Forestal.

A partir de 1978 y hasta la fecha ocupa el puesto de Profesor en el Departamento de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En marzo de 1984 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado, UCR/CATIE y en 1986 obtuvo el grado de Magister Scientiae en Recursos Naturales Renovables con especialidad en Manejo de Bosque y Producción de Madera.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, como requisito para optar al título de

Magister Scientiae

Comité Asesor

  
David H. Boshier, M.Sc.


Consejero Principal

  
Gustavo Enriquez, Ph.D.

Miembro del Comité

  
Pedro Ferreira, Ph.D.

Miembro del Comité

  
Rodolfo Salazar, D.Phil.


Miembro del Comité

  
Assefaw Lewolde, Ph.D.


Miembro del Comité

  
José Francisco Di Stefano, Ph.D.

Director del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales UCR/CATIE

  
Luis Estrada N., Ph.D.

Decano del Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica

  
Juvenal Valerio Garita

Candidato

VALERIO, J. 1986. Evaluación de nueve procedencias de Gmelina arborea Roxb. en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 92 p.

Palabras clave: Gmelina arborea, ensayos de procedencias, raleo en ensayos de procedencias, Costa Rica.

## RESUMEN

Gmelina arborea es una especie de rápido crecimiento utilizada en reforestación para la producción de pulpa y madera para aserrío. En 1982 se estableció un ensayo en Pavones de Turrialba, Costa Rica, con el fin de obtener información sobre el comportamiento de nueve procedencias de esta especie, como parte de una serie internacional de ensayos coordinados por DANIDA Forest Seed Centre, entidad que suministró las semillas. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar a edad temprana el grado de variación fenotípica entre las procedencias incluidas en dicho ensayo, con respecto a sobrevivencia, crecimiento y forma de los árboles, densidad de la madera y largo de fibra; 2) determinar el mejor criterio de selección de árboles para raleo el ensayo.

El trabajo se planteó sobre la hipótesis de que las condiciones ambientales particulares de las regiones en las que evolucionaron las procedencias han originado diferencias en sus frecuencias génicas.

En el ensayo se probaron dos procedencias derivadas, una de Manila, Siquirres, Costa Rica (BLSF1018) y otra de São Miguel, Pará, Brasil (DAN.4040) y siete procedencias nativas. Tres de ellas provienen del estado de Andhra Pradesh, India: Meredumilli (DAN.4058), Lambasingi (DAN.4065) y DAN.4066 cuya ubicación exacta se desconoce; una de Bengala Occidental, India: Sankosh-1 (DAN.4045); dos de Sri Lanka, de ubicación desconocida (DAN.4067 y DAN.4068); y una procedencia de Tailandia, de Kao Yai, Saraburi (D 1003/80).

Las variables de respuesta fueron: sobrevivencia, diámetro a la altura del pecho, altura total, dominancia del eje principal, altura de ramificación o bifurcación, rectitud, densidad básica de la madera y largo de fibras, y área basal por parcela como variable derivada. El análisis de varianza detectó diferencias entre procedencias

( $P < 0,01$ ) para las variables evaluadas, excepto para sobrevivencia y altura de ramificación o bifurcación. Aparentemente el sitio de estudio reúne las condiciones necesarias para el crecimiento de todas las procedencias probadas. La altura de ramificación o bifurcación la determinan principalmente factores ambientales como la incidencia de luz lateral.

El orden de las procedencias según las medias de las variables de crecimiento fue similar al orden según las medias de las variables de forma. No hubo una relación clara entre el comportamiento de las procedencias con respecto a las variables de crecimiento y las de densidad de madera y largo de fibra, ni entre estas últimas. Se determinó que la presencia de reiteraciones en el modelo arquitectural de la especie y su variación por procedencia determina la pérdida de dominancia del eje principal e influye en la pérdida de rectitud.

La procedencia local (BLSF1018) junto con la de São Miguel (DAN.4040) y una de Sri Lanka (DAN.4067) presentaron el mejor comportamiento, por lo que se recomienda partir de las plantaciones establecidas con semilla recolectada en Manila, para iniciar un programa de mejoramiento genético. En una primera etapa se deben considerar las variables de forma y crecimiento, dejando para una segunda etapa la selección por características como densidad de la madera y largo de fibra.

Debido a la evidente competencia entre los árboles en el ensayo y de acuerdo con la literatura consultada se propuso efectuar un raleo del 50 por ciento. Para recomendar el mejor criterio de selección de árboles se evaluaron cuatro alternativas: i) no ralear, ii) raleo sistemático, iii) raleo por diámetro y iv) raleo selectivo silvicultural. Se compararon las características de los posibles vuelos remanentes con respecto al promedio de las variables evaluadas, varianza, coeficientes de variación y posible efecto diferencial del raleo sobre alguna de las procedencias. Se determinó que el raleo selectivo silvicultural permite asegurar una adecuada distribución de los árboles en el ensayo, retiene los mejores individuos, mantiene la variabilidad dentro de las parcelas y no afecta en forma diferente a ninguna procedencia, lo que permite que el ensayo mantenga su validez para evaluaciones futuras.

Valerio, J. 1986 Evaluation of nine provenances of Gmelina arborea Roxb. in Turrialba, Costa Rica. Thesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 92 p.

Keywords: Gmelina arborea, provenances trials, thinings in provenances trials, Costa Rica.

### SUMMARY

Gmelina arborea is a species of rapid growth used in reforestation to produce pulp and sawn timber. In 1982 a trial was established in Pavones, Turrialba, Costa Rica, to obtain information on the performance of nine provenances of G. arborea as part of an international network of trials coordinated by the DANIDA Forest Seed Centre, who supplied the seeds. The objectives of this study were to: 1) Evaluate at an early age the phenotypic variation between the provenances in the trial with respect to survival, growth and form of trees, wood density and fibre length, 2) Determine the best tree selection criteria to thin the provenance trial.

The study was based on the hypothesis that environmental conditions specific to the provenances region of origin have produced differences in their respective gene frequencies.

The trial tested two derived provenances, one from Manila, Siquirres, Costa Rica, (BLSF1018) and the other from São Miguel, Pará, Brazil (DAN.4040). Seven native provenances were tested; three from Andhara Pradesh, India -Meredumilli (DAN.4058, Lambasingi (DAN.4065) and DAN.4066, whose exact location is unknown; one from West Bengal, India: Sankosh-1 (DAN.4045); two from Sri Lanka, location unknown (DAN.4067 and DAN.4068); and a provenance from Thailand, Kao Yai, Saraburi (D1003/80).

The traits evaluated were: survival, diameter at breast height, total height, main shoot dominance, branching height, straightness, basic wood density and fibre length. As a derived variable, basal area per plot was also evaluated. The analysis of variance detected differences between provenances ( $P < 0,01$ ) for all variables, but sur-



vival and branching height. The trial site shows conditions suitable for the growth of all provenances tested. Branching height is determined principally by environmental factors, such as the incidence of lateral light.

The order of provenances by means for growth variables was similar to the rankings for form variables. There was no clear relationship between the performance of provenances with respect to growth variables, wood density and fibre length or between the latter two. It was found that the presence of reiterations in the architectural model of the species and its variation between provenances determine the loss of dominance in main shoot and influence loss of straightness.

The local provenance (BLSF1018) along with that from São Miguel (DAN.4040) and one from Sri Lanka (DAN.4067) presented the best performance and as such the use of existing plantations in the country is recommended to start a genetic improvement programme. In the first stage of such a programme form and growth variables should be considered, leaving the selection of wood density and fibre length to a second stage.

Due to the evident tree competition and in agreement with literature for the species a 50 percent thinning was proposed. To allow recommendation of a criteria for tree selection four alternatives were evaluated: i) no thinning, ii) systematic thinning, iii) diameter thinning, and iv) selective silvicultural thinning. Characteristics of the remnant stands were compared considering the mean of evaluated variables, variance, coefficient of variation and possible differential effect of the thinning. It was concluded that the selective silvicultural thinning allows an adequate distribution of trees in the trial, retains the best individuals, maintains variability within plots and does not affect differentially any of the provenances and assuring the validity of the trial for future evaluations.

# CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xv
1. INTRODUCCION .....	1
2. MARCO TEORICO .....	3
2.1 <u>Gmelina arborea</u> .....	3
2.2 <u>Ensayos de procedencias</u> .....	8
2.3 <u>Ensayos de procedencias en Gmelina arborea</u> .....	10
2.4 <u>Raleos en ensayos de procedencias</u> .....	12
3. MATERIALES Y METODOS .....	14
3.1 <u>Procedencias</u> .....	14
3.2 <u>Sitio</u> .....	16
3.2.1 <u>Ubicación</u> .....	16
3.2.2 <u>Clima</u> .....	16
3.2.3 <u>Geología</u> .....	16
3.2.4 <u>Geomorfología</u> .....	21
3.2.5 <u>Pendiente</u> .....	21
3.2.6 <u>Suelo</u> .....	21
3.3 <u>Ensayo</u> .....	23
3.4 <u>Variables</u> .....	26
3.4.1 <u>Supervivencia</u> .....	26
3.4.2 <u>Diámetro</u> .....	26
3.4.3 <u>Area basal</u> .....	26
3.4.4 <u>Altura</u> .....	27
3.4.5 <u>Dominancia del eje principal</u> .....	27
3.4.6 <u>Frecuencia de bifurcación o ramificación</u> .....	27
3.4.7 <u>Altura de bifurcación o ramificación</u> .....	30
3.4.8 <u>Rectitud</u> .....	30
3.4.9 <u>Densidad básica de la madera</u> .....	31
3.4.10 <u>Largo de fibra</u> .....	35
3.5 <u>Análisis estadístico</u> .....	36
3.5.1 <u>Modelo lineal aditivo</u> .....	36
3.5.2 <u>Problemas de desbalance en el ensayo</u> .....	40
3.5.3 <u>Variables categóricas</u> .....	41
3.5.4 <u>Correlación entre edades</u> .....	42
3.5.5 <u>Comparadores de medias</u> .....	42
3.6 <u>Raleo en el ensayo</u> .....	43

4.	RESULTADOS .....	44
4.1	Supervivencia .....	44
4.2	Diámetro de los ejes .....	44
4.3	Area basal .....	46
4.4	Altura .....	48
4.5	Dominancia del eje principal .....	49
4.6	Frecuencia de bifurcación .....	51
4.7	Altura de bifurcación o ramificación .....	52
4.8	Rectitud .....	53
4.9	Densidad básica de la madera .....	55
4.10	Largo de fibra .....	56
4.11	Maleo .....	57
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
5.1	Conclusiones .....	61
5.2	Recomendaciones .....	62
6.	CITAS BIBLIOGRAFICAS .....	63
7.	APENDICES .....	67

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Identificación, ubicación y características de las procedencias .....	15
2	Clases de rectitud para <u>G. arborea</u> .....	30
3	Componentes de la varianza de las variables de campo ....	37
4	Componentes de la varianza de las variables evaluadas por parcela .....	39
5	Componentes de la varianza de la densidad básica de la madera .....	39
6	Componentes de la varianza del largo de fibra .....	40
7	Medias marginales poblacionales del diámetro de los ejes .....	44
8	Medias marginales poblacionales del diámetro de los ejes a los 18 meses agrupados según Bonferroni 10,8 % ...	45
9	Medias marginales poblacionales del área basal por hectárea agrupadas según Bonferroni 10,8 % .....	46
10	Rendimientos en volumen de las diferentes procedencias ..	47
11	Medias marginales poblacionales de altura agrupadas según Bonferroni 10,8 % .....	49
12	Medias marginales poblacionales de dominancia del eje principal agrupadas según Bonferroni 10,8 % .....	50
13	Medias marginales poblacionales de frecuencia de bifurcación o ramificación agrupadas según Bonferroni 10,8 % .	51
14	Medias marginales poblacionales de altura de bifurcación o ramificación .....	52
15	Medias marginales poblacionales de altura de bifurcación o ramificación en los bloques .....	53
16	Medias marginales poblacionales de rectitud agrupadas según Bonferroni 10,8 % .....	54
17	Medias de densidad básica de la madera agrupadas según Tukey 5 % .....	55
18	Medias del largo de fibra agrupadas según Tukey 5 % .....	57

19	Medias marginales poblacionales, varianzas y coeficiente de variación de las variables después de cada uno de los posibles raleos .....	58
20	Medias marginales poblacionales de altura vuelo original y posibles vuelos remanentes .....	59
21	Medias marginales poblacionales de dominancia del eje principal vuelo original y posibles vuelos remanentes ...	60

### En apéndices

Cuadro		Página
1 A	Distribución mensual de la precipitación en el sitio: Finca Buenayista .....	68
2 A	Análisis químico del horizonte A, por bloque .....	69
3 A	Descripción del perfil 01 .....	70
4 A	Características químicas del suelo: perfil 01 .....	71
5 A	Capacidad de intercambio de cationes: perfil 01 .....	72
6 A	Descripción del suelo: perfil 02 .....	73
7 A	Características químicas del suelo: perfil 02 .....	74
8 A	Capacidad de intercambio de cationes perfil 02 .....	74
9 A	Arboles replantados en el ensayo .....	75
10 A	Análisis de varianza de la supervivencia .....	76
11 A	Análisis de varianza del logaritmo del diámetro de los ejes .....	77
12 A	Análisis de varianza del logaritmo del diámetro de los ejes a 18 meses de edad .....	78
13 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales del diámetro a 18 meses de edad .....	79
14 A	Análisis de varianza del área basal por parcela .....	80
15 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales del área basal por parcela .....	81
16 A	Análisis de varianza del logaritmo de la altura .....	82

17 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales del logaritmo de la altura .....	83
18 A	Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la dominancia del eje principal .....	84
19 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de la dominancia del eje .....	85
20 A	Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la frecuencia de bifurcaciones o ramificaciones más 1/2 .....	86
21 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de frecuencia de bifurcación o ramificación más 1/2 .....	87
22 A	Análisis de varianza del logaritmo de la altura de bifurcación o ramificación .....	88
23 A	Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la rectitud más 1/2 .....	89
24 A	Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de rectitud más 1/2 .....	90
25 A	Análisis de varianza de la densidad básica de la madera .	91
26 A	Análisis de varianza del largo de fibra .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Región de origen de <u>G. arborea</u> .....	5
2	Ubicación de cuatro procedencias evaluadas de la región de origen .....	17
3	Diagramas climáticos de las procedencias .....	18
4	Ubicación del sitio .....	19
5	Diagrama climático del región del sitio .....	20
6	Pendiente media de las parcelas en el ensayo .....	22
7	Distribución del ensayo en el campo .....	24
8	Clases de dominancia del eje principal .....	28
9	Presencia de un segundo rebrote .....	29
10	Arboles rectos según clases de rectitud para <u>G. arborea</u> .	32
11	Arboles aceptables según clases de rectitud para <u>G. arborea</u> .....	33
12	Arboles inaceptables según clases de rectitud para <u>G. arborea</u> .....	34

## 1. INTRODUCCION

Se estima que en la región tropical, anualmente se deforestan 11,3 millones de hectáreas. Por otra parte 5,1 millones son abandonadas por la agricultura migratoria y recolonizadas por árboles (Huguet, 1982). En los terrenos que se reincorporan al área bajo cobertura arbórea se debe procurar un alto rendimiento de productos maderables para aliviar la presión sobre los bosques naturales remanentes y mejorar las condiciones de vida de la población rural.

Existen dos estrategias complementarias para aumentar la producción:

- modificar el ambiente y
- modificar las frecuencias génicas de la población.

El presente trabajo está encaminado hacia la segunda de las estrategias.

Gmelina arborea Roxb. es una especie de rápido crecimiento con una producción abundante de semillas, de fácil establecimiento y alta capacidad para rebrotar, razones por las que se ha usado en plantaciones a gran escala en varios de los países donde se ha introducido. En Costa Rica ha sido establecida con éxito en plantaciones comerciales y también por pequeños propietarios. Actualmente se utiliza en la elaboración de pulpa para papel absorbente. La madera rolliza se emplea para construcciones rurales y también se comercializa la madera aserrada.

La distribución natural de G. arborea presenta un amplio ámbito, tanto geográfico como ecológico, por lo que se espera que exista variabilidad genética entre las procedencias. Al haberse establecido en diferentes regiones del mundo las frecuencias génicas habrán cambiado bajo presiones de selección diferentes a las del lugar de origen. Esta variabilidad ofrece la posibilidad de seleccionar poblaciones e individuos con las frecuencias génicas óptimas para su desarrollo y producción en diferentes ambientes.

En 1982 se estableció en Turrialba un ensayo para obtener información sobre el crecimiento y comportamiento de nueve procedencias de



la especie para la producción de pulpa y madera de aserrío (Boshier, 1982). Con este motivo se hizo esta tesis, cuyos objetivos son:

- i. evaluar a temprana edad el grado de variación fenotípica entre las procedencias respecto a la supervivencia, crecimiento y forma de los árboles, densidad de la madera y largo de fibra.
- ii. determinar el mejor criterio de selección para ralea en el ensayo.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Gmelina arborea

El género Gmelina de la familia Verbenaceae, fue descrito por Lineo en 1742 y la especie G.arborea por Roxburgh en 1814 (A Revised Handbook to the Flora of Ceylon, 1983, Jackson, 1946).

Se reconocen tres variedades de la especie: a) G. arborea var. typica, caracterizada por tener tricomas estrellados en el envés de las hojas. En el área de origen se le encuentra en el bosque árido y bosque deciduo húmedo; b) G. arborea var. canescens se considera una variedad intermedia entre el holotipo y la variedad glaucenscens. G. arborea var. canescens se encuentra localizada en la transición entre el bosque deciduo húmedo y el deciduo árido; c) G. arborea var. glaucenscens se ubica en el bosque semisiempreverde y bosque deciduo húmedo. Es la única variedad de lugares húmedos y carece de tricomas. Se encuentra en el norte de Paquistán y en Nepal, a través del norte de la India hasta Birmania y también la parte húmeda de Sri Lanka (A Revised Handbook to the Flora of Ceylon, 1983, Lauridsen, 1977).

Lauridsen (1977) indica que en India la especie se encuentra en cuatro grandes tipos de bosque:

- Bosques semiperegrnes del norte
- Bosques deciduos mixtos húmedos del norte
- Bosques decídúos mixtos húmedos del sur
- Bosques decídúos áridos.

La distribución natural de la especie es amplia, va de los 5° a los 30° de latitud norte (Greaves, 1981). El límite occidental de dicha distribución está en el curso inferior himalayo del río Chenab en Paquistán a los 73° de longitud este. El límite oriental está en las provincias de Yunnan y Kwansi al sur de China, a los 110° de longitud Este (Greaves, 1981, Lamb, 1970). Corner (1940) y Merrril (1923), (citados por Greaves (1981)), afirman que la especie fue introducida a la Península Malaya.

Darwin (1921) postuló que las especies que ocupan mayor extensión son las que, con más frecuencia, producen variedades bien caracterizadas. G. arborea ocupa un amplio ámbito geográfico y ecológico lo que permite la existencia de subpoblaciones con diferentes frecuencias génicas y esto se traduce en diferencias morfológicas y de vigor o crecimiento.

En la Figura 1, el área sombreada corresponde a los tipos de bosque donde se encuentra la especie en su región de origen.

En su hábitat natural las temperaturas máximas absolutas, varían entre 37 y 48°C y las mínimas entre los -1 y los 16°C. La especie muestra su mejor desarrollo cuando las temperaturas extremas son 18 y 35°C. La precipitación varía entre 762 y 2032 mm anuales, pero en regiones al norte de Bangladesh, Assam y Nepal estas son hasta de 5000 mm (Lamb, 1970).

El ámbito altitudinal en la región de origen está entre los 90 y 900 msnm, y llega hasta los 1200 msnm en las colinas y valles himalayos del occidente (Troup, 1921, citado por Greaves (1981)) y en la región húmeda de Sri Lanka alcanza hasta los 1500 msnm (Trimen, 1895, citado por Greaves(1981)).

Las condiciones de suelo son de gran importancia en el desarrollo del árbol pues, aunque puede establecerse en la mayoría de tipos de suelo, los rendimientos más satisfactorios se dan en suelos profundos, húmedos, pero bien drenados y sin obstáculos ya que las raíces no pueden traspasar capas endurecidas, o de grava compacta (Lamb, 1970).

Según Ghuznavi (1935), citado por Greaves (1981), G. arborea fue una de las primeras especies plantada en Kaptai, Bangladesh en 1879. Esa plantación tuvo un buen desarrollo durante cinco o diez años pero después sufrió un deterioro debido al ataque de plagas y muerte regresiva. Aparentemente la especie encuentra muchos enemigos al crecer en plantaciones dentro de su región de origen, sin embargo fuera de la misma estos problemas disminuyen (Arimah, 1979).

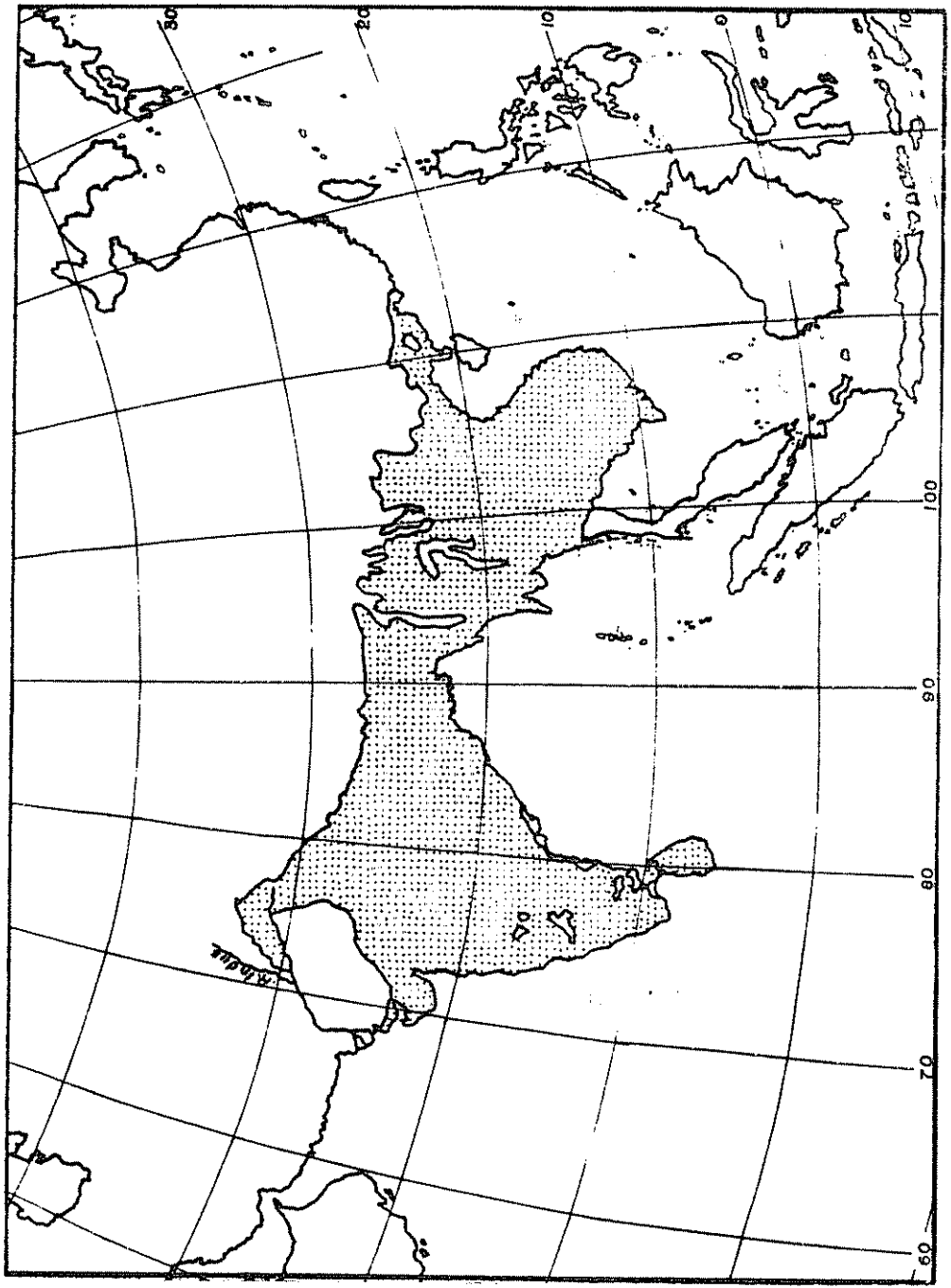


Figura 1: Región de origen de *G. arborea*  
Fuente : Mapa de vegetación Bartoloméw (1950)

A pesar de los fracasos observados inicialmente en las plantaciones puras se probó e introdujo la especie para plantaciones fuera de su región de origen. Un estudio reciente, realizado por el Instituto Forestal de la Mancomunidad Británica, muestra que la especie se ha introducido en, al menos, 35 países, en ocho de los cuales se planta en gran escala (Greaves, 1981), por ejemplo Brasil, Nigeria y Malasia.

Por la importancia económica que la especie ha alcanzado, se han realizado, entre otros, estudios relacionados con su mejoramiento genético, por ejemplo el que informa Woessner (1983 a), llevado a cabo en Jari. En este estudio, flores de G. arborea que fueron protegidas con bolsas para polinizar no desarrollaron frutos. Las flores autopolinizadas o polinizadas con polen de otro árbol y luego protegidas con bolsas, desarrollaron frutos, sin embargo, posteriormente estos abortaron. El autor sospecha que esto se debe a la alta temperatura dentro de la bolsa.

Por su parte, Bolstad y Bawa (1982) explican el aborto en los frutos producidos por autopolinización como un mecanismo de autoincompatibilidad postzigótica, apoyados en los resultados de un experimento realizado en Costa Rica, en el que no se desarrolló ningún fruto de las 171 flores autopolinizadas en seis árboles. Mientras tanto, las 183 polinizaciones cruzadas en los mismos árboles dieron origen a 106 frutos, en ambos casos se retiraron las bolsas protectoras en la tarde del día siguiente a la polinización. Los autores, al observar los insectos que visitaban las flores concluyeron que los polinizadores son abejas de tamaño de mediano a grande y que la producción abundante de semillas sugiere que estas abejas nativas son vectores de polinización efectivos.

En G. arborea, el sistema de autoincompatibilidad funciona después de la formación del cigoto por lo que se debe llamar autoesterilidad. Se ha observado autoincompatibilidad en Tectona grandis, también de la familia Verbenaceae, (Hedgart (1976) citado por Bolstad y Bawa (1982)). En este caso la incidencia del fenómeno varió entre 96 y 100 por ciento, pero no se explica como se obtuvieron estos

resultados. Venkatesh et al. (1978) informan de la aparición de una plántula de G. arborea albina y plantean la posibilidad de que esa plántula se originara de la autofecundación en un árbol heterocigótico para ese carácter. De ser así, se podría tomar como evidencia de fallas ocasionales en el sistema de auto-incompatibilidad de la especie. La autoincompatibilidad evita el problema de autogamia en huertos semilleros de polinización abierta pero restringe la posibilidad de obtener líneas homocigóticas para hibridizar. De todos modos los cruces entre líneas puras se usan más en cultivos agrícolas que en árboles. La heterogamia contribuye a mantener la variabilidad dentro de la población.

La variabilidad dentro de la especie se manifiesta al evaluar características de crecimiento o densidad de madera y largo de fibra. Akachuku (1984) hace un estudio de densidad de la madera, largo y proporción de fibras, altura y diámetro, en árboles de siete años en dos sitios en Nigeria; en Agibandele, una área de bosque alto con 2150 mm de precipitación media anual y en Awi, una área de bosque secundario con 4030 mm de precipitación media anual. Las condiciones de temperatura son similares en ambos sitios, con un promedio anual de 25,5°C. En cada sitio se muestrearon dos parcelas de 400 m<sup>2</sup> ubicadas al azar, en cada parcela se seleccionaron aleatoriamente cinco árboles. A éstos se les midieron altura total y diámetro. Una vez talados se cortaron cilindros de 7,5 cm de espesor tomados a 5, 25, 45 y 65 por ciento de la altura total del árbol. Se determinó la densidad de la madera en cada anillo de crecimiento con un densitómetro de rayos X. Para determinar los valores promedio del largo de fibra en cada anillo de crecimiento, se masearon las muestras de madera correspondientes en una mezcla de volúmenes iguales de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno al 30 por ciento durante 24 horas. La proporción de fibras se determinó por un método de muestreo puntual. El autor encontró diferencias entre árboles para cada una de las propiedades de la madera estudiadas así como en la tasa de crecimiento.

Los árboles de madera más densa, en promedio, superaron en un 30 por ciento a los de menor densidad. El promedio de longitud de fibra mayor, superó en un 24 por ciento, en promedio, a los de fibra más

corta. Pareciera que una proporción de la diferencia entre árboles es determinada genéticamente, en vista de que se muestrearon árboles de la misma edad, plantados al mismo espaciamiento, en las mismas condiciones ambientales, o sea dentro de parcelas, y que han recibido los mismos tratamientos silviculturales.

En estudios de las características papeleras de la especie, hechos en muestras de diferentes partes del mundo, se ha encontrado que el ámbito de largo de fibra va de 0,80 mm, en árboles de la India, hasta 1,33 mm, en árboles de Malasia. La densidad de la madera varía entre los 380 kg/m<sup>3</sup>, en una muestra de Bamaro, Costa de Marfil y los 465 kg/m<sup>3</sup>, en una muestra de Gambia (Palmer 1973).

## 2.2 Ensayos de procedencias

La definición del diccionario para procedencia es "lugar de origen", pero en la jerga forestal puede significar una variedad de cosas, desde población hasta país, e incluso una fuente derivada de un lugar de donde la especie no es nativa. Se usa frecuentemente para identificar un lote de semillas particular de una recolección particular hecha por una organización particular. Procedencia es un término vago pero también útil porque puede significar la localidad de un fuente de semillas pero sin ninguna connotación de población. Este último término tiene un significado preciso en genética de poblaciones, sea un grupo de individuos entre los que hay intercambio de genes. Ocasionalmente en la literatura el término procedencia, se utiliza erróneamente como sinónimo de lote de semillas, sin embargo también posee algún sentido geográfico (Matheson y Raymond, 1984), éste es importante pues se refiere al ambiente dentro del cual crecieron los árboles progenitores y en el que se ha desarrollado su constitución genética, por selección artificial, natural o ambas (Styles, 1979).

Para satisfacer las necesidades de madera para el consumo humano, hay que aumentar la producción y para esto es deseable encontrar tantos genes como pueda haber y en las combinaciones más útiles como puedan existir y agruparlas en la forma más provechosa, a través del

mejoramiento, tan rapido y económicamente como sea posible (Namkoong, et al., 1980).

Según Barnes y Gibson (1984), con los ensayos de procedencias se pretende encontrar, dentro de una especie, las procedencias que tengan las combinaciones de genes más adecuadas para producir en un sitio o un grupo de sitios un producto final deseado en el sentido de:

- i. el volumen o biomasa que puede producirse por hectárea,
- ii. la calidad del producto, forma, distribución del volumen entre tronco y copa, densidad de la madera y las características de las fibras,
- iii. el potencial para mejora genética, evaluado por la variabilidad dentro de procedencias, para las características de interés,
- iv. la capacidad para producir en forma sostenida, que se puede detectar por la adaptación fisiológica y la resistencia a plagas y enfermedades.

Con los ensayos de procedencias también se pretende proporcionar material del cual seleccionar árboles que contribuyan a la formación de poblaciones mejoradas para producir semillas para plantaciones. Según Nanson (1972), hay cuatro alternativas para seleccionar árboles en ensayos de procedencias:

- i. Selección individual o masal, en la que se eligen los árboles únicamente por sus características fenotípicas sin tomar en cuenta la procedencia a que pertenezcan.
- ii. Selección entre procedencias, donde se aceptan o rechazan todos los individuos de una procedencia atendiendo al valor fenotípico promedio de ella.
- iii. Selección dentro de procedencias, donde se seleccionan los mejores individuos de cada procedencia comparando su valor fenotípico dentro de la misma.



- iv. Selección combinada, los árboles se seleccionan mediante un índice que toma en cuenta su valor fenotípico, apropiadamente ponderado por la media de la procedencia a que pertenece.

### 2.3 Ensayos de procedencias en G. arborea

En el trópico se ha trabajado en ensayos de procedencias principalmente con pinos y eucaliptos pero, como lo señala Lamb (1970), antes de 1970 no se conocía ningún ensayo de procedencias de la especie G.arborea. En 1970 el Cuadro de Expertos de la FAO en Recursos Genéticos Forestales incluyó a G.arborea entre las especies de máxima prioridad en la lista de árboles forestales cuyos recursos genéticos requieren prospección, utilización y conservación (Lauridsen, 1977). La coordinación del plan internacional se confió al Centro de Semillas Forestales Dinamarca/FAO, Dinamarca (DANIDA). La labor se realizó en estrecha colaboración y conjuntamente a los servicios forestales y los organismos de investigación nacionales. En 1974 se inició el plan de prospección y recolección. En 1976 se recolectó treinta muestras de semillas en diferentes localidades de la India, Tailandia y Africa. En diciembre de 1985 DANIDA Forest Seed Centre, informa que coordina ensayos en 36 localidades de los siguientes países: Colombia, Camerún, Ghana, India, Indonesia, Costa de Marfil, Islas Salomón, Malawi, México, Vanuatu, Nigeria y Senegal.

Con el material suministrado por DANIDA, además de los ensayos de campo, se han realizado estudios de laboratorio e invernadero; por ejemplo Arimah (1979), estudiando 18 características morfológicas de frutos, endocarpos y plántulas en 16 procedencias de G. arborea, encontró diferencias entre las procedencias ( $P < 0,01$ ) para cada una de las variables evaluadas. En cada caso el aporte de las diferencias entre procedencias, a la variación total, fue menor que el aporte de las diferencias dentro de procedencias. Trece de las procedencias pertenecen a la distribución natural y tres fueron derivadas (Costa de Marfil, Malawi y Brasil). Tanto por análisis de componentes principales como de grupos "cluster", Arimah (1979) identificó dos grupos principales de procedencias; la de Lambasingi (DAN.4038) y la de Mahilong (DAN.4006), ambas de la India que forman un grupo completa-

mente segregado del resto. Dentro del segundo grupo se observan dos sub-grupos, uno formado por las procedencias de: Sankos-1 (DAN.4045), Malawi (DAN4004) y Brasil (DAN.4040). La procedencia derivada en Costa de Marfil aparece en el otro subgrupo junto con las procedencias de la costa sur de la India.

En un ensayo, establecido en Jari, en el que se utilizaron 11 procedencias de G. arborea (ocho indúes, dos africanas y una local), Woessner (1983b) observó diferencias entre procedencias respecto al diámetro y la altura ( $P < 0,01$ ). Al comparar las medias con la de la procedencia local (DAN.4040) no observó diferencias respecto al diámetro pero dos de las procedencias indúes, una de ellas la de Sankos 1 (DAN.4045), presentaron medias de altura inferiores a la procedencia local, según la prueba de Dunett ( $P < 0,01$ ).

En un ensayo internacional de 12 procedencias de G. arborea (nueve indúes, dos tailandesas y una de Malawi) establecido en cuatro sitios en Nigeria, (Egenti 1983) no se encontraron diferencias entre las procedencias dentro de sitios ( $P > 0,05$ ). La evaluación de diámetro, altura y supervivencia se realizó a los 19 meses de edad. Tres de los sitios se identifican como bosque húmedo semideciduo y el cuarto como sabana arbolada mixta de leguminosas. Se indica que hay diferencias entre sitios ( $P < 0,01$ ). Los resultados de este trabajo llaman la atención pues las procedencias que se evaluaron representan un amplio ámbito de situaciones climáticas y latitudinales, desde 50 msnm, 1025 mm de precipitación media anual a los  $12^{\circ}27'$  de latitud norte (DAN.4023), hasta los 1000 msnm, 4800 mm de precipitación media anual y  $26^{\circ}45'$  de latitud norte (DAN.4025). No se citó información sobre las medias de parcelas dentro de sitios, pero se muestra que el número de procedencias varía entre sitios. Sería interesante conocer los resultados de evaluaciones más recientes así como los detalles del análisis estadístico realizado.

Al estudiar la densidad de la madera, a los 14 y 17 meses, en un ensayo internacional de once procedencias de G. arborea; ocho indúes, dos africanas y una local; en Jari, Woessner (1983 b) encontró diferencias entre procedencias ( $P < 0,01$ ). Se hizo una comparación de

las medias mediante la prueba de Dunnett se encontró que a los 17 meses, hubo tres procedencias de la India con mayor densidad que la procedencia local (São Miguel, DAN.4040) la que apareció similar al resto. El autor concluye de esta evaluación juvenil que hay una considerable variación entre procedencias y que, en Jari, se podría tener mayor ganancia genética en densidad de la madera que en crecimiento. Se sugiere que en un programa de hibridización entre procedencias se debe tomar como progenitores árboles superiores de Jari (DAN.4040) y de las procedencias de madera más densa, a saber Gotil-18 (DAN.4008) y Lambsingi (DAN.4065).

Los trabajos de Akachuku (1984), Arimah (1979) y Woesner (1983 b) demuestran la existencia de variabilidad genética tanto entre procedencias como dentro de las mismas, esto concuerda con lo postulado por Darwin (1921).

#### 2.4 Raleos en Ensayos de Procedencias

Por lo general las plantaciones de G. arborea se manejan con turnos cortos y en muchos países no hay mercado para troncos de diámetros menores por lo que ha habido poco entusiasmo por investigar sobre la influencia de diferentes regímenes de raleo sobre el crecimiento y producción en la especie. Está claro que para la producción de pulpa en rotaciones cortas los raleos son innecesarios pero que son esenciales, desde temprana edad, si se quiere incrementar el diámetro (Greaves, 1981), en árboles destinados para aserrío, por ejemplo.

Barnes y Gibson (1984), refiriéndose al manejo de ensayos de procedencias de pinos tropicales, señalan que hay cuatro alternativas respecto al raleo de los ensayos:

- i. no ralear
- ii. raleo sistemático
- iii. ralear por bajo respecto al diámetro pero teniendo en cuenta aspectos cualitativos.
- iv. raleo silvicultural, tomando en cuenta el espaciamiento y la calidad y dimensión del producto,

El primero de los métodos es aplicable cuando hay poca interferencia con el rodal e interesa la información temprana, del ensayo, sobre el comportamiento de los árboles bajo intensa competencia y sobre el área basal máxima. El ensayo no dará información a largo plazo. El segundo método mantiene la composición genética de cada procedencia, mediante muestreo, pero se corre el riesgo de perder la mitad del material valioso para mejora. En la tercera de las alternativas se asegura la retención del mejor material genético pero la distribución puede ser errática. El cuarto método ofrece la mejor alternativa entre distribución y retención de material valioso. La mejor alternativa de raleo para un ensayo particular dependerá de los objetivos, del diseño del experimento y la variación entre y dentro procedencias.

En el caso de los ensayos de procedencias de G. arborea se pueden aplicar las mismas consideraciones que para los de pinos tropicales. Si los objetivos del ensayo se fijan en función de producir madera para aserrío, además de pulpa, es necesario ralear el ensayo para obtener mayor información a largo plazo. Keiding et al (1964), señalan que en vista de que G. arborea tiene varias posibilidades de mercado, la selección se hace difícil y la edad de realizarla puede variar ya que para pulpa se puede hacer a los cinco años, mientras que para madera aserrada no puede hacerse antes de los 15.

Respecto a la intensidad del raleo, Lamb, (1970) sugiere que se reduzca la densidad de la plantación, en el tercero o cuarto año a un 50 por ciento. Woesner y M<sup>C</sup> Nabb, (1981) indican que en Jari las plantaciones de cinco años han sido raleadas a 650 ó 440 árboles por hectárea, lo cual corresponde a la mitad de la densidad actual en el ensayo en Celulosa de Turrialba no se informa en el trabajo la densidad inicial.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Procedencias

En el ensayo se probaron nueve procedencias, siete del área de origen y dos derivadas, una en São Miguel, Pará, Brasil y la otra en Siquirres, Costa Rica.

La procedencia local se identificó con el número respectivo al lote de semillas del Banco Latinoamericano de Semillas Forestales (BLSF) del CATIE. De acuerdo con información suministrada por el Dr. Lauridsen del Danida Forest Seed Center, el lote de semillas identificado como DAN.4045 fue colectado en la misma localidad que el DAN.4010, un año después. El lote identificado como DAN.4058 corresponde al mismo sitio del DAN.4037, el lote DAN.4065, al DAN.4038 y el lote D1003/80 al DAN.4002. Al momento se desconoce la ubicación y características climáticas de las procedencias DAN.4066, DAN.4067 y DAN.4068.

Las semillas de la región de origen fueron recolectadas de rodales naturales. La semilla de la procedencia local fue recolectada de árboles en un ensayo de procedencias establecido entre los años 1966 y 1970 con semilla traída de Gambia, Sierra Leona, Nigeria y Belice, por lo que esta procedencia, BLSF1018, no es una raza pura (Boshier, 1982). La información sobre el ensayo de procedencias se perdió, la plantación está constituida por una serie de parcelas de las diferentes procedencias. Woessner y M<sup>C</sup> Nabb (1981), indican que la semilla en Jari, procedencia DAN.4040, se recolecta generalmente de plantaciones de cinco años o más, que han sido raleadas a 650 ó 440 árboles por hectárea. Las primeras plantaciones de gmelina en Jari, fueron establecidas en 1968 con semillas de rodales naturalizados en Africa Occidental Austral y de Belice, (Woessner 1983 b).

En el Cuadro 1 se presenta la identificación e información general de las procedencias evaluadas.

Cuadro 1. Identificación, ubicación y características de las procedencias

Procedencia	Identificación	Ubicación geográfica		Prec. anual (mm)	Elevación (msnm)
		Latitud	Longitud		
Manila, Siquirres, Costa Rica	BLSF1018	10°10'N	83°25'U	3286	15
São Miguel, Jari, Para, Brasil	DAN.4040	00°52'S	52°32'O	2476	66
Sankosh-1, Bengala Occidental, India	DAN.4045	26°25'N	89°20'E	4800	46
Meredumilli, Andhra Pradesh, India	DAN.4058	17°40'N	81°42'E	1500	--
Lambasingi, Andhra Pradesh, India	DAN.4065	17°52'N	82°30'E	1500	--
Andhra Pradesh, India	DAN.4066	--	--	--	--
"A" Sri Lanka	DAN.4067	--	--	--	--
"B" Sri Lanka	DAN.4068	--	--	--	--
Kao Yai, Saraburi, Tailandia	01003/80	14°37'N	100°15'E	1150	250

Las procedencias nativas representan una pequeña parte del ámbito geográfico y ecológico de la distribución natural, por lo tanto no pueden considerarse como una muestra representativa de la posible población de procedencias. La Figura 2 presenta la ubicación de cuatro de las procedencias. A la fecha no se dispone de esa información para las procedencias de Sri Lanka ni de una de las indúes, DAN.4066.

En la Figura 3 se presenta los diagramas climáticos de las procedencias, de las que se posee su ubicación, según el Atlas de Diagramas Climáticos de Walter (1967)

### 3.2 Sitio

#### 3.2.1 Ubicación

El ensayo se estableció en el lote número 12 de la finca Buenavista, propiedad de la compañía Celulosa de Turrialba. El sitio del ensayo se ubica geográficamente en los  $9^{\circ}56'33''$  de latitud Norte y los  $83^{\circ}37'36''$  de longitud Oeste, entre los 500 y los 540 m sobre el nivel del mar. En la Figura 4 se presenta la ubicación del sitio en el país y en la región.

#### 3.2.2 Clima

La precipitación media anual, en un período de siete años (1978-1984), es de 3364 mm. No existe época seca, según el concepto en el que se fundamenta la teoría de los diagramas climáticos de Walter (1967), como se puede ver en la Figura 5. La distribución mensual de la precipitación aparece en el Apéndice 1 A. La temperatura media anual es de  $22,6^{\circ}\text{C}$  (Estación La Amistad, 500 msnm) y el régimen de temperatura es isotérmico.

#### 3.2.3 Geología

El material parental se deriva de la meteorización de la toba de la Formación Tuis (Mapa Geológico de Costa Rica, 1982; Bilt, van der, 1984). Esta formación corresponde a un conglomerado de brecha volcánica, caliza, areniscas y limonitas carboníferas de la época Pleoceno

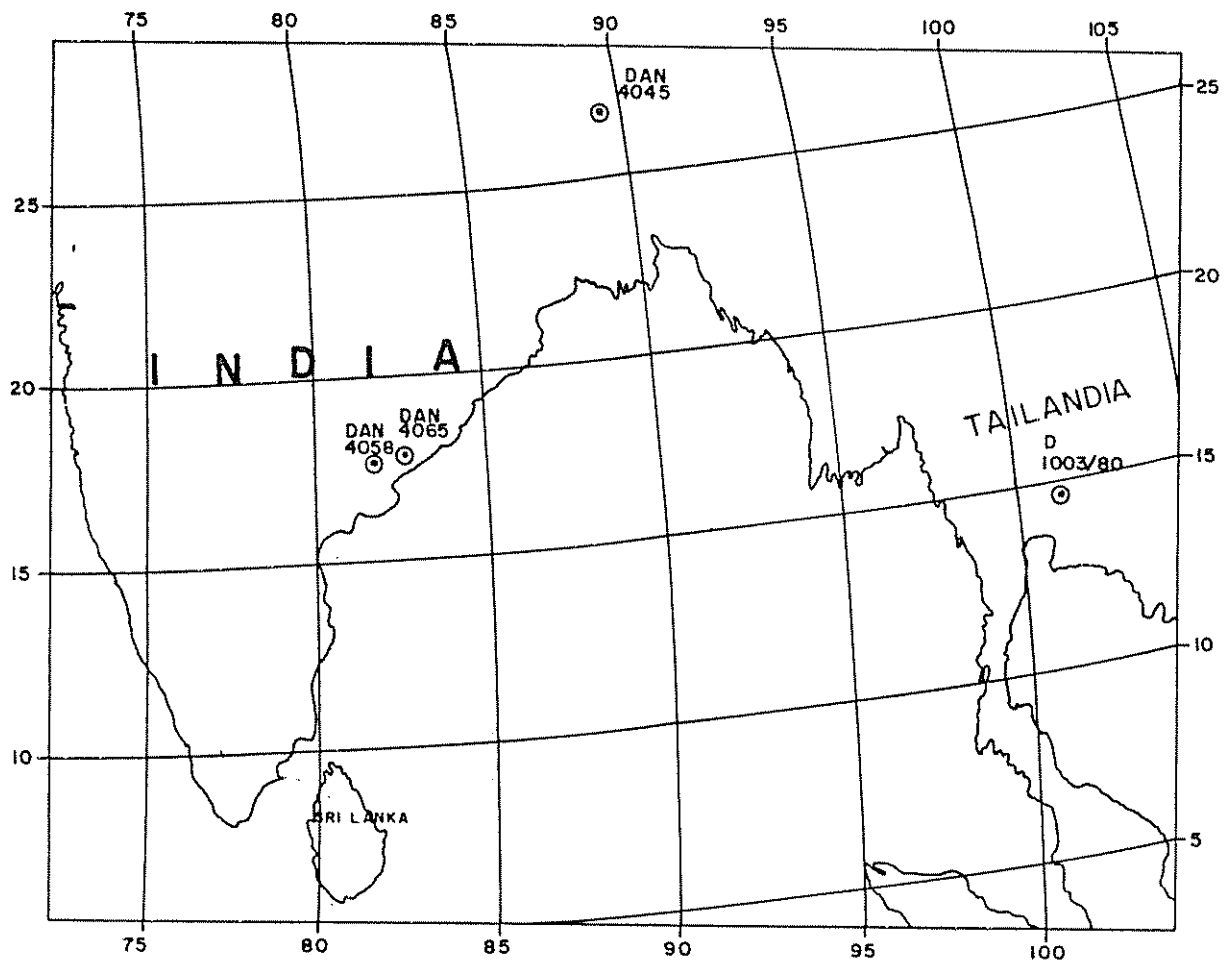
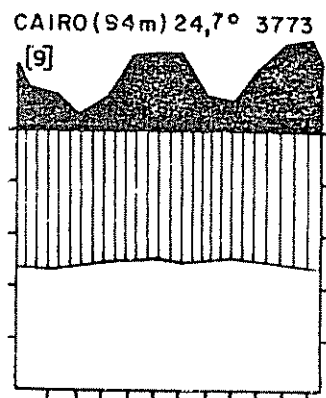
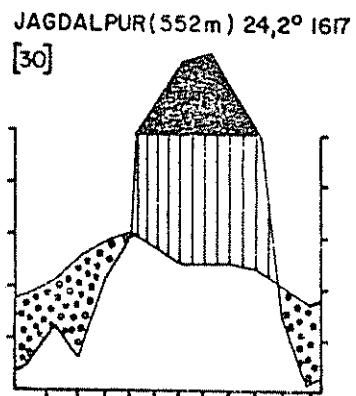
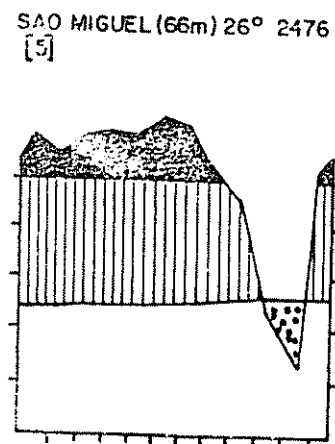


Figura 2: Ubicación de cuatro procedencias evaluadas de la región de origen

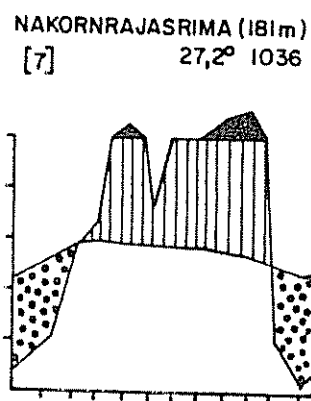




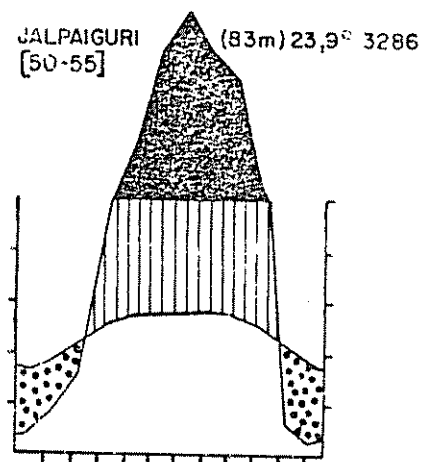
BLSF1018

DAN.4058  
DAN.4065

DAN.4040



D1003/80



DAN.4045

Figura 3: Diagramas Climáticos de las Procedencias

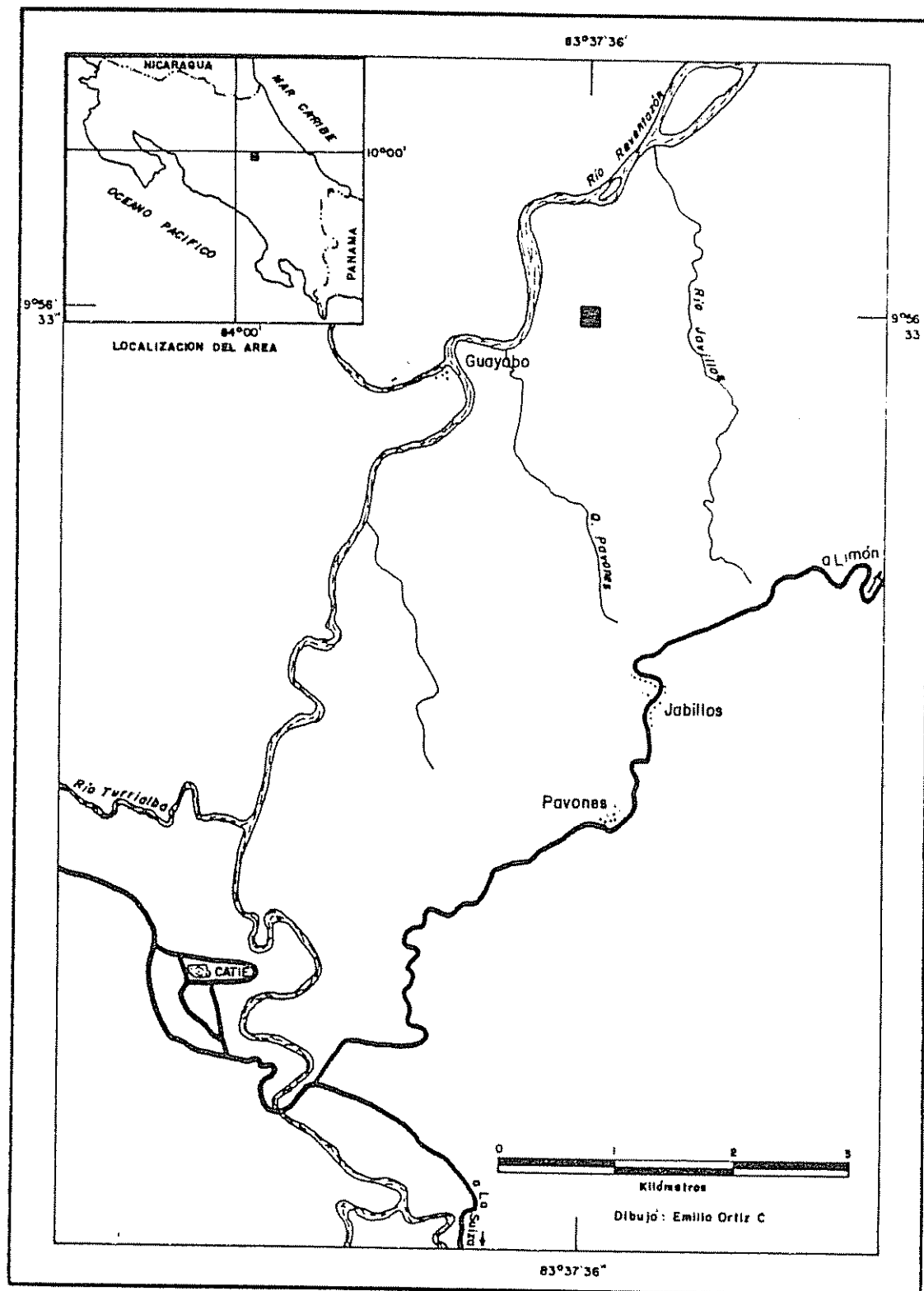


Figura 4: Ubicación del sitio  
Fuente : COSTA RICA INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Hoja cartográfica Tucurrique 3445 I San José, Costa Rica 1981 escala 1:50000

BUFNAVISTA 22,6° 3364

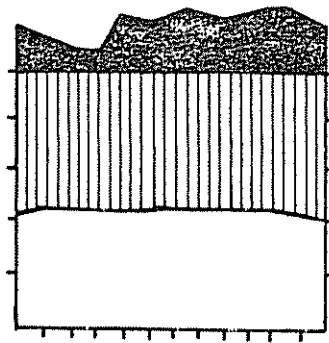


Figura 5: Diagrama climático de la región del sitio  
Fuente : Datos suministrados por la Compañía Scott  
Paper. Véase Apéndice 3.2.2

Eoceno, con edad de 55 millones de años. La toba es de fina a gruesa y presenta clastos de andecita y basalto de color café grisáceo con intercalaciones menores de vulcanitas (cineritas) y lutitas de color café.

#### 3.2.4 Geomorfología

El ensayo se ubica en el escarpe de una terraza erosionada de origen tectónico volcánico y en un abanico coluvial en la base. Los primeros tres bloques del ensayo se encuentran en el escarpe y el cuarto bloque en el abanico.

#### 3.2.5 Pendiente

Las parcelas correspondientes al escarpe presentan una pendiente pronunciada mientras que las correspondientes al abanico tienen una pendiente suave. En la Figura 6 se muestra la pendiente media de cada una de las parcelas y la flecha indica la dirección predominante de la pendiente en el ensayo.

#### 3.2.6 Suelo

El pH, medido en NaF, varía entre 9,3 y 9,89, véase los Apéndices 4 A y 7 A. Esto indica el contenido de arcillas amorfas (alofana) lo que coincide con el origen volcánico de los suelos. Antes de establecer el ensayo, el sitio estaba ocupado por un bosque secundario. Por el origen del suelo, la protección contra la erosión y el aporte de materia orgánica característicos del tipo de cobertura, el contenido de nutrimentos en el suelo es alto, véase el Apéndice 2 A. Por las mismas razones la textura y estructura del suelo son muy buenas, véase los Apéndices 3 A y 6 A.

El suelo del escarpe de terraza presenta poco desarrollo y fue clasificado como Troporthent, mientras que el que corresponde al abanico coluvial presenta un desarrollo incipiente y fue clasificado como Typic Dystrandept, ambos según el criterio de clasificación taxonómica

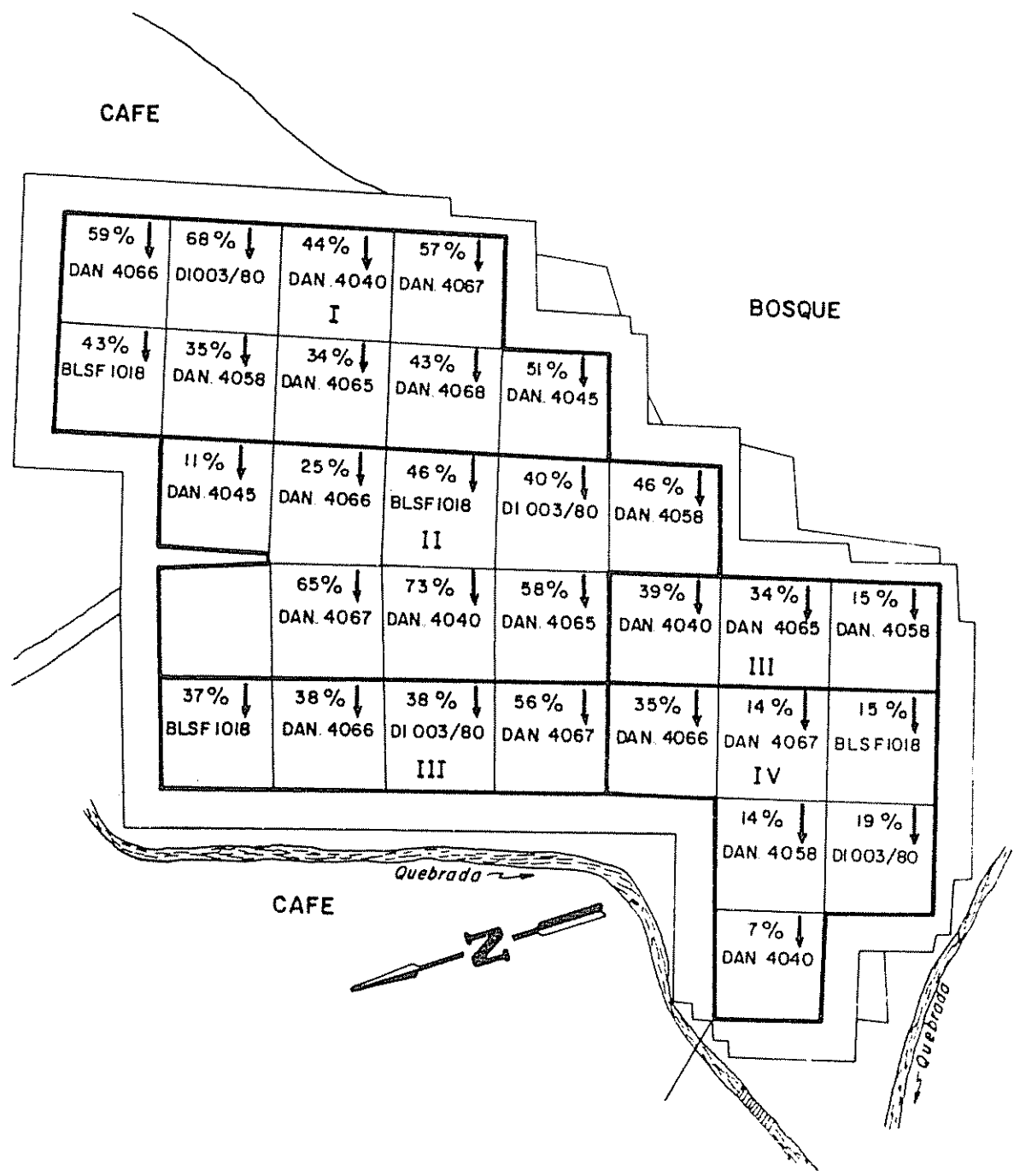


Figura 6: Pendiente Media de las Parcelas en el Ensayo

del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (Tropical Soils 1984).

### 3.3 Ensayo


Los lotes de semillas suministrados por DANIDA se recibieron en julio de 1981 y se almacenaron a 5°C y 30 por ciento HR. La semilla de la procedencia local se recibió el 19 de febrero de 1982.

Para uniformar la germinación, antes de la siembra, las semillas, colocadas en bolsas de tela, se pusieron a remojar en baldes con agua corriendo durante 48 horas, del 26 al 27 de febrero de 1982. Posteriormente se sembraron en eras en el vivero del CATIE.

El ensayo se estableció de acuerdo con un diseño de bloques al azar con nueve tratamientos y cuatro repeticiones. Por carecer de suficientes plantas de todas las procedencias, disponibles en el vivero, tres de éstas presentan un número menor de repeticiones, éstas procedencias son: DAN.4065 con tres repeticiones, DAN.4045 con dos y DAN.4068 no está repetida. Debido a esto, la última de estas procedencias se excluyó del análisis de las variables de crecimiento y forma. La distribución de las procedencias en los bloques se muestra en la Figura 7.

Los bloques se ubicaron perpendicularmente a la pendiente, para evitar así la variabilidad dentro de ellos. Las parcelas correspondientes a cada procedencia en cada bloque son de 36 árboles, plantados a 3 m x 3 m. Alrededor del ensayo se plantaron dos líneas de borde y siempre que fue posible, para el borde de cada parcela se utilizaron plantas de la procedencia correspondiente. No hay bordes entre bloques pero la línea externa de cada parcela se deja como borde. Se define como parcela útil a los 16 árboles centrales de cada parcela que ocupan 144 m<sup>2</sup>. Los árboles se numeran de la siguiente forma:

01	02	03	04
08	07	06	05
09	10	11	12
16	15	14	13

N 

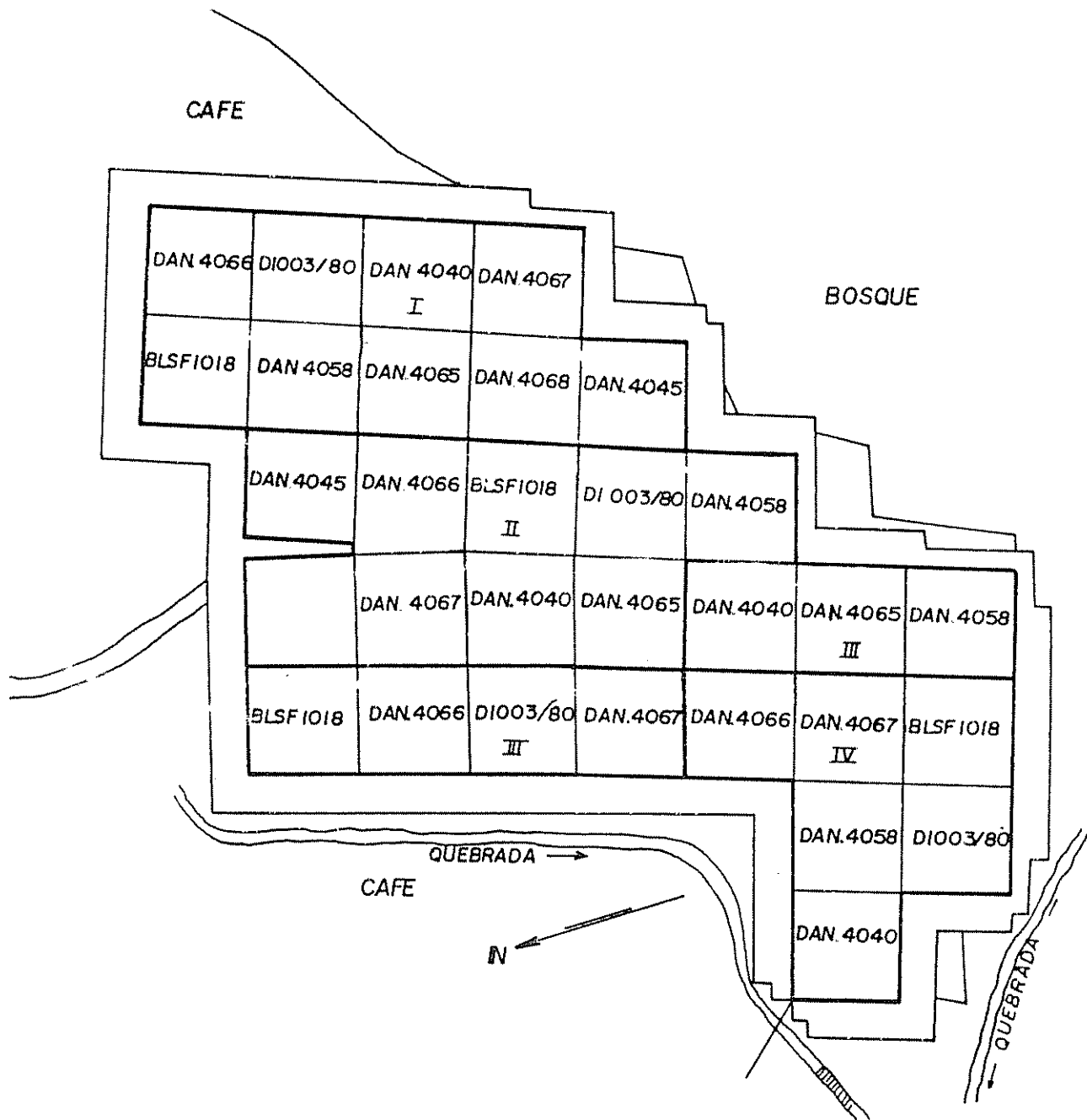


Figura 7: Distribución del ensayo en el campo

Para la plantación se usaron pseudoestacas de 5 a 10 cm de tallo y de 10 a 15 cm de raíz. Se llevaron al campo en sacos de fibra sintética para evitar la pérdida de humedad y se plantaron en hoyos de 30 cm de ancho y 20 cm de profundidad.

Las diferentes repeticiones se plantaron en las siguientes fechas:

Repetición 4, el 30 de agosto de 1982.  
Repeticiones 1 y 3, el 31 de agosto de 1982;  
Repetición 2, el primero de setiembre de 1982.

Las parcelas correspondientes a las procedencias DAN.4045 y DAN.4067 en la repetición dos, se plantaron el 18 de octubre, hasta estar seguros de la supervivencia en las otras parcelas de estas procedencias. Los bordes se plantaron entre el 21 y el 22 de octubre, después de reponer unas pocas pseudoestacas que habían muerto. En el Apéndice 9A se presenta la lista de los árboles replantados.

Entre el 10 y 11 de julio de 1983 se seleccionó el mejor rebrote en cada pseudoestaca, y se eliminaron los demás. En algunos casos se originó un segundo rebrote después de la operación de selección y eliminación de rebrotes, (ver Figura 9).

El ensayo se evaluó a los tres meses de plantado y las variables de respuesta fueron: el diámetro de la base del árbol, la altura total, el número de rebrotes y defectos del fuste. A los 18 meses se evaluó de nuevo y en ésta oportunidad las variables de respuesta fueron el diámetro a altura de pecho, la altura total y la forma y defectos del fuste (Boshier, 1982)

Para la presente evaluación se excluyeron del análisis dos observaciones correspondientes a árboles que fueron replantados y que presentaron un crecimiento muy pobre. Uno de estos árboles corresponde a la tercera repetición de la procedencia DAN.4065 y el otro a la cuarta repetición de la procedencia D1003/80 (Apéndice 3 A).



### 3.4 Variables

#### 3.4.1 Supervivencia

La supervivencia se determinó con base en el porcentaje respectivo de cada parcela, excluyendo los árboles replantados.

#### 3.4.2 Diámetro

Se midió el diámetro a altura de pecho con cinta diamétrica y precisión al milímetro más cercano. Cuando un árbol presentó más de un eje, por bifurcación o ramificación, se midieron ambos y se analizaron como árboles individuales, según recomiendan Keiding *et al* (1984). Cuando se encontró una bifurcación o ramificación a 1,3 m, se midió el diámetro diez centímetros abajo y arriba y se anotó el promedio cuadrático de las tres mediciones. Para correlacionar el diámetro actual con la altura a tres meses de edad, se tomó la suma cuadrática de los diámetros de los ejes, en aquellos árboles con una bifurcación abajo de 1,30 m. Esta es, junto con la altura, la variable más importante para evaluar el vigor de crecimiento y el potencial de producción económica de cada procedencia.

#### 3.4.3 Area basal

Se determinó el área basal por parcela como:

$$ne \sum_{i=1} d_i^2 \pi/4$$

donde:

ne es el número de ejes medidos por parcela y

$d_i$  el diámetro de cada eje medido a 1,3 m del suelo.

Esta variable derivada da información sobre el crecimiento de la parcela y sobre el grado de competencia que existe entre sus individuos. Económicamente es importante pues da un estimado de la producción de la procedencia por unidad de superficie. El área basal

multiplicada por la altura y por un factor de forma adecuado da, un estimado del volumen producido por área.

#### 3.4.4 Altura

La altura total del árbol se midió con varilla telescópica graduada, con precisión al decímetro más cercano. En los árboles con dos o más ejes se midió el más alto, según recomiendan Keiding et al (1984). La altura puede expresar mejor la respuesta de la procedencia en el sitio pues la competencia no la afecta tan pronto como al diámetro. Es la otra variable que expresa el vigor de crecimiento y el rendimiento económico.

#### 3.4.5 Dominancia del Eje Principal

Cada árbol se calificó según una escala del uno al siete, de acuerdo con la sugerencia de Keiding et al (1984). En las tres categorías inferiores se ha perdido el eje principal y en las restantes cuatro, éste se mantiene con diferentes grados de dominancia. La Figura 8 ilustra las diferentes categorías.

Este carácter es de gran importancia económica pues determina la presencia de ramificaciones y de bifurcaciones e influye en la rectitud misma del fuste, y a su vez estos factores determinan la calidad del árbol.

#### 3.4.6 Frecuencia de Bifurcación o Ramificación

Se contó el número de oportunidades en que el árbol bifurcó o desarrolló una rama gruesa; cuando no hubo se anotó cero. Los árboles que han perdido su eje principal se tomaron como bifurcados en ese punto. En los árboles que desarrollaron un segundo eje a partir de la pseudoestaca, ver Figura 9, se midió el diámetro de ambos ejes pero no se tomó en cuenta como bifurcación ni para calificar la dominancia del eje. Esta variable es económicamente importante pues determina la distribución del volumen del tronco en varios ejes y también las dimensiones de las posibles trozas y la calidad de la madera.

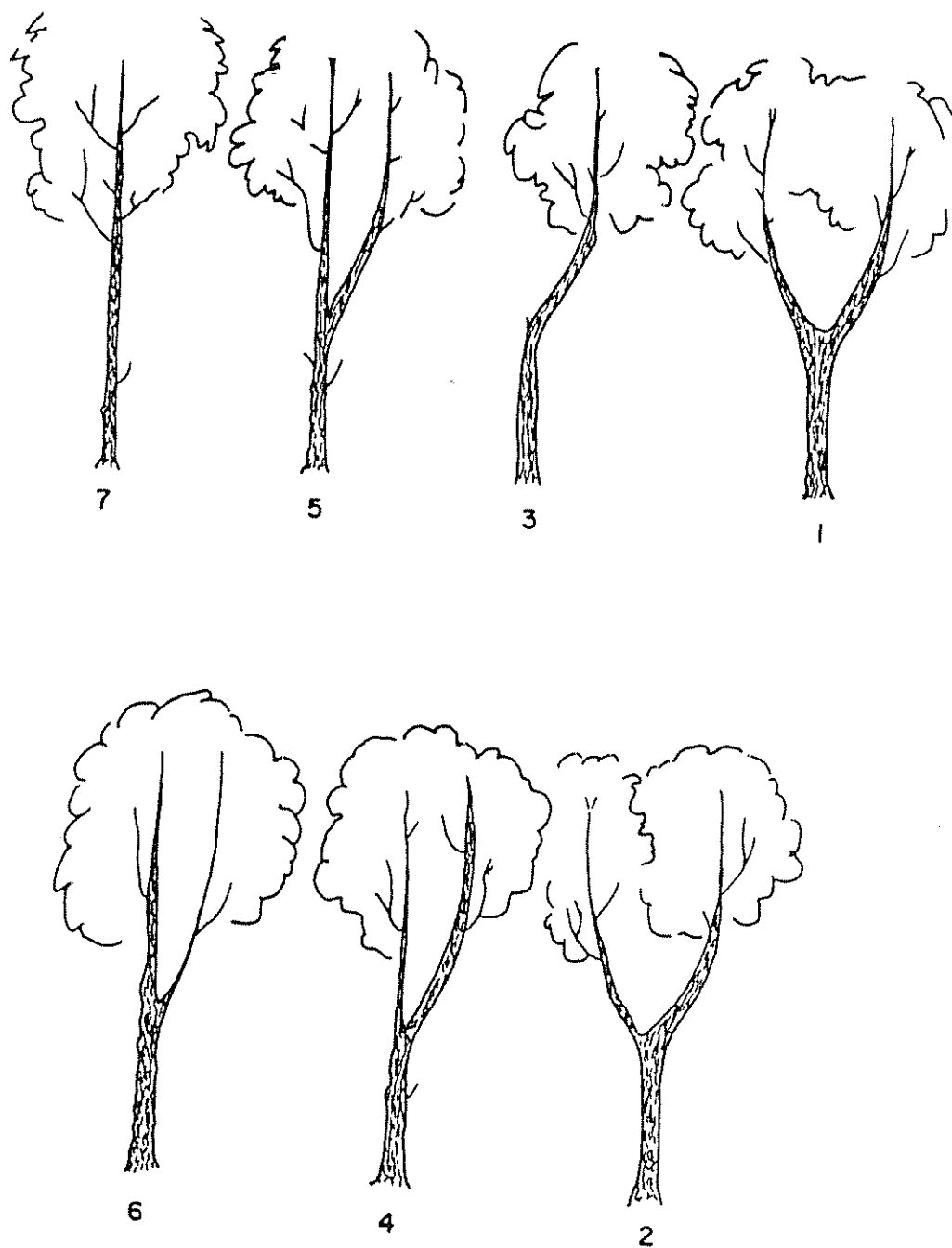


Figura 8: Clases de Dominancia del Eje Principal  
Fuente : Keiding et al. (1984)



FIGURA 9: Presencia de un segundo rebrote

### 3.4.7 Altura de Bifurcación o Ramificación

La altura de bifurcación o ramificación se midió con varilla telescópica graduada, con precisión al decímetro más cercano. Se excluyeron del análisis los árboles que no presentaron bifurcación o ramificación. La situación ideal es que el árbol no bifurque ni presente ramas gruesas y ésto se evalúa a través de la variable anterior. Sin embargo es interesante saber la tendencia de la altura a que bifurcan o ramifican los que lo hacen. La importancia económica de esta característica es que los árboles que ramifican o bifurcan a mayor altura, ofrecen una troza de mayor longitud en la parte inferior.

### 3.4.8 Rectitud

Se definieron tres clases de rectitud y cada una dividida en tres calificaciones, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clases de rectitud para G. arborea

Clase	Calificación
Arboles rectos	9- Recto
Con marcada tendencia a crecer rectos y mantener el aspecto de rectitud	8- Más pobre que 9 7- Más pobre que 8
Arboles Aceptables	6- Arbol regular
Pierde el aspecto de rectitud, son aceptables comercialmente	5- Más pobre que 6 4- Más pobre que 5
Arboles Inaceptables	3- Mejor que 2
Con torceduras pronunciadas y frecuentes además de quebraduras	2- Mejor que 1 1- Arbol deformado

Fuente: Keiding et al. (1984)

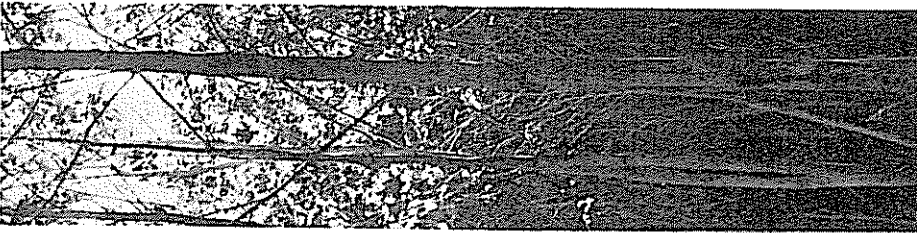
Para calificar los árboles de la clase superior (7-9) se evaluó la frecuencia de torceduras y el grado de desvío respecto a la dirección original del eje. Los árboles de la clase intermedia (4-6) se calificaron de acuerdo al largo de las secciones entre torceduras, su posición dentro del árbol y sus perspectivas de uso. Los criterios para calificar los árboles de la tercera clase (1-3) fueron los mismos usados en la primera clase. En el caso de árboles bifurcados se evaluó el eje más recto.

Se aceptaron como árboles rectos aquellos en los que no se observaron más de dos torceduras y consecuentemente no hicieron abandonar al eje su dirección original. Los árboles considerados como regulares mantienen la dirección del eje al menos en dos terceras partes de su extensión. En la clase de inaceptables las torceduras son frecuentes y pronunciadas, además presentan quebraduras y bifurcaciones que contribuyen a la pérdida de la forma. En las Figuras 10, 11 y 12 se dan ejemplos de árboles de las diferentes clases y calificaciones.

#### 3.4.9 Densidad Básica de la madera

Como la madera de G. arborea es de baja densidad se ha considerado esencial incluir la evaluación de este carácter en los ensayos de procedencia (Keiding, et al 1984).

Para procurar las condiciones de crecimiento más homogéneas posibles de los árboles muestreados y para evaluar las nueve procedencias presentes se tomaron las muestras de los árboles de las parcelas del primer bloque. Se muestrearon trece árboles, escogidos al azar, en las líneas externas de las parcelas respectivas. De cada árbol se tomaron dos muestras, una perpendicular a la otra, con un barrenador Pressler de 12 mm, las mismas se tomaron a 1,2 m de altura. Por ser las muestras de una altura única en cada árbol no es posible tener un valor de densidad comparable con los resultados de otros estudios en la especie, pero es valioso para comparar las procedencias, según los objetivos del trabajo. De cada muestra se tomaron dos probetas, una de la parte externa que se identificó como

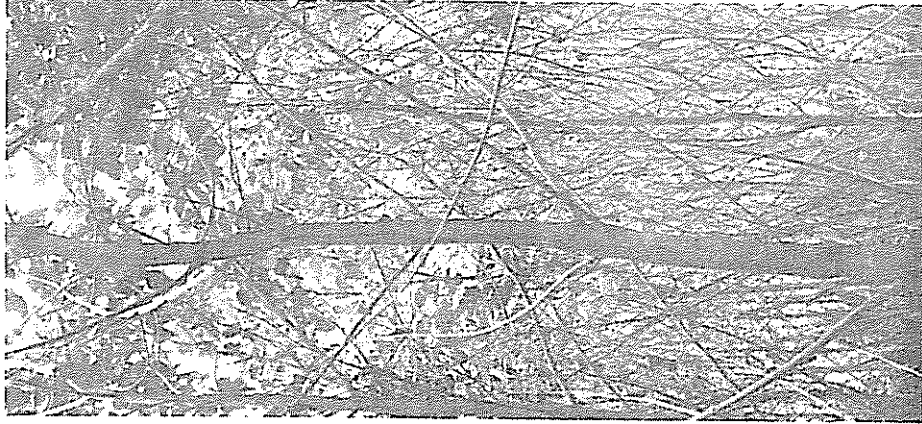


CALIFICACION 7

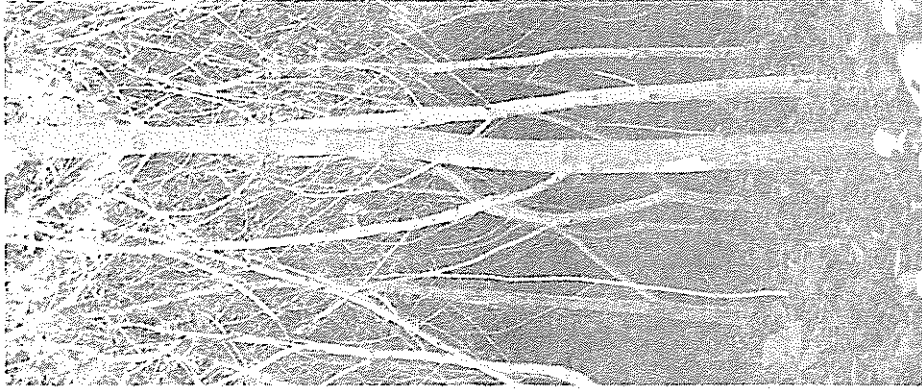


CALIFICACION 8

FIGURA 10: Arboles rectos, según clases de rectitud para G. arborea



CALIFICACION 4



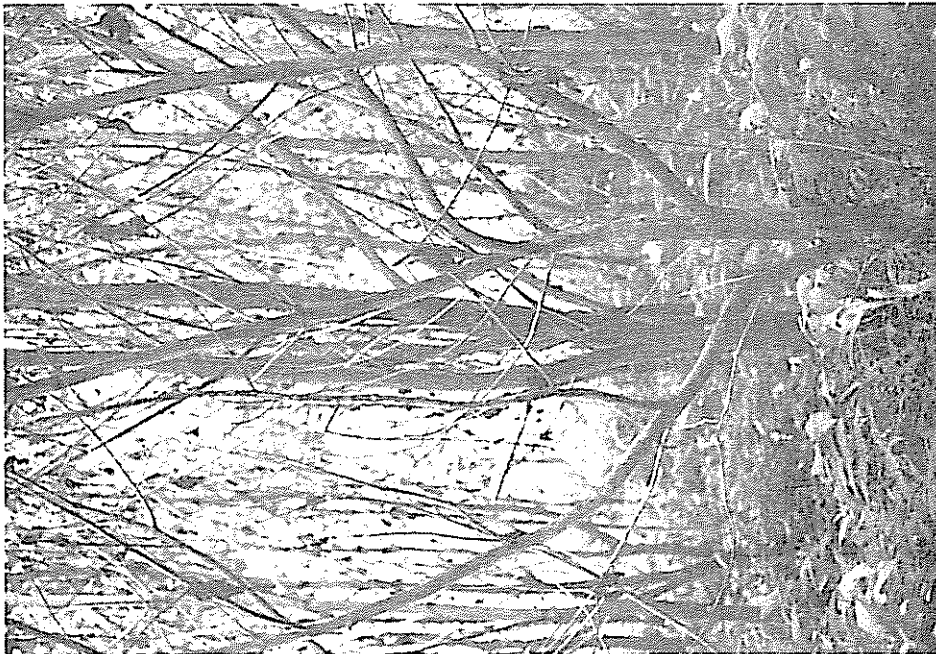
CALIFICACION 5



CALIFICACION 6

FIGURA 11: Arboles aceptables, según clases de rectitud para G. arborea





CALIFICACION 1



CALIFICACION 2



CALIFICACION 3

FIGURA 12: Arboles inaceptables, según clases de rectitud para G. arborea

"corteza" y otra de la parte interna identificada como "médula". Cada probeta se identificó tanto por la ubicación dentro del árbol como por la posición en que se tomó, una perpendicular a la otra.

Para evitar la pérdida de humedad las muestras fueron transportadas del campo al laboratorio en bolsas plásticas. En el laboratorio se determinó el volumen verde por desplazamiento de agua con una precisión al diezmilésimo de centímetro cúbico más cercano. En un horno a 60° C se secaron las probetas durante cuatro semanas y se pesaron con una precisión al diezmilésimo de gramo más cercano.

La densidad básica de la madera se calculó como:

$$\text{Densidad Básica} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen Verde}}$$

#### 3.4.10 Largo de fibra

Barnes y Gibson (1984) indican que el largo de fibra es una de las características de importancia que se debe incluir en la evaluación de ensayos de procedencias en especies como, la gmelina, que se emplean en la producción de pulpa. Tal es el caso de gmelina, pues interesa no sólo el volumen producido sino también la calidad del mismo.

Del material sobrante de la determinación de densidad de la madera se seleccionó, al azar, las muestras de seis árboles. Se trabajó con este número, pues en el laboratorio se contó con una batería de seis torres de reflujo para hacer la maseración, en este proceso se empleó una solución de 33 por ciento de ácido acético glacial y 67 por ciento de peróxido de hidrógeno de 20 volúmenes.

Una vez maserada la madera, las fibras se tiñeron con una solución de zafranina en etanol, se montaron en un portaobjetos graduado con una escala de un milímetro y se proyectaron en la pantalla de un microproyector. Se determinó la longitud aparente de la escala (1 mm) en la pantalla para ajustar las medidas de las proyecciones de las

fibras. La precisión al medir las proyecciones fue al milímetro más cercano; un milímetro en la pantalla representó 0,022 mm reales.

### 3.5 Análisis estadísticos

La hipótesis que sustenta este trabajo es que las diferencias ambientales entre las regiones en las que evolucionaron las procedencias han originado diferencias en las frecuencias génicas que gobiernan las variables a evaluar.

La hipótesis nula en cada uno de los análisis es que no hay diferencias entre las medias de las procedencias y la hipótesis alternativa es que al menos una media es diferente a las demás.

#### 3.5.1 Modelo lineal aditivo

La base para la mayoría de los análisis paramétricos están relacionados con la teoría de la hipótesis lineal general que asume que las observaciones se pueden expresar como funciones lineales de algunas variables conocidas, bloques y procedencias en este caso, con errores residuales que están normal e independientemente distribuidos con media cero y varianza constante (Kempthorne 1979). De acuerdo con lo anterior el modelo lineal aditivo para las observaciones en el ensayo es:

$$Y_{ijk} = M + B_i + T_j + (B T)_{ij} + E_{ij} + e_{ijk} \quad (2)$$

donde:

$Y_{ijk}$  : representa cada una de las observaciones,

$M$  : es la media general

$B_i$  : el efecto aleatorio atribuible al  $i$ -ésimo bloque

$T_j$  : el efecto fijo debido a la  $j$ -ésima procedencia.

$(BT)_{ij}$ : el efecto aleatorio causado por las desviaciones del valor de la  $j$ -ésima procedencia en el  $i$ -ésimo bloque, respecto al efecto aditivo de esta procedencia y bloque (Dickerson, 1962; Matheson y Raymond, 1984).

- $E_{ij}$ : el efecto de las de las desviaciones atribuibles a diferencias entre el microsítio de la  $j$ -ésima parcela y el de las restantes del  $i$ -ésimo bloque.
- $e_{ijk}$ : el efecto debido a la desviación residual de cada observación, atribuible a diferencias fenotípicas y a errores de medida.

Las procedencias evaluadas en el ensayo son una muestra pequeña y no representativa, de la población de procedencias: ver la Figura 2. Esta muestra permite conocer el comportamiento particular de cada procedencia pero no permite hacer inferencias confiables sobre la población de las mismas. Se ha considerado, entonces, al efecto de las procedencias como fijo, por este motivo se representa con una  $F$  el componente varianza respectivo, a diferencia de los demás componentes que se representan con una  $S$ , por ese mismo motivo no se calcula estos componentes de varianza, ya que no darían información extrapolable a la población de procedencias. Se aceptan a los bloques como representantes, aleatorios, de las características de sitios dentro de la población de los mismos, por lo que el efecto atribuible a ellos se considera como aleatorio.

Del modelo lineal aditivo (2) se desprende que la esperanza matemática del cuadrado medio de cada una de las fuentes de variación se distribuye como se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Componentes de la varianza de las variables de campo

Fuente de variación	$E(CM)$
Bloques	$S_e^2 + nS_{ep}^2 + nmS_b^2$
Tratamiento	$S_e^2 + nS_{ep}^2 + nS_{bt}^2 + noF_t^2$
Interacción (BXT)	$S_e^2 + nS_{ep}^2 + nS_{bt}^2$
Error dentro de parcelas	$S_e^2$

El componente de varianza de la interacción (BXT),  $S_{bt}^2$ , no forma parte del cuadrado medio esperado de los bloques (BA), aunque sí lo hace el componente del error entre parcelas,  $S_{ep}^2$ , que es alea-

torio. El error debido a diferencias entre parcelas de un bloque, está confundido con el efecto de la interacción pura y el diseño del experimento no permite separar ambos efectos. Por lo anterior se usa el cuadrado medio de la interacción, como denominador en la prueba de F para probar la significancia del efecto de las procedencias. No existe un cuadrado medio adecuado para probar la significancia del efecto de los bloques. En los casos en que el efecto de la interacción no es significativo se prueba el efecto de bloques y de tratamientos con el cuadrado medio del residuo, a sabiendas de que la prueba es una aproximación. Los componentes de la varianza del Cuadro 3 son válidos en el caso estrictamente balanceado. En este estudio existen pequeños desbalances, debido a desigualdades en el número de repeticiones por procedencia y de árboles por parcela, que no afectan sustancialmente a la distribución de los componentes de varianza citados ni a las pruebas de hipótesis que de éstas se deriven.

En el análisis de las variables derivadas, área basal y supervivencia por parcela, el modelo lineal aditivo que describe cada observación es el siguiente:

$$Y_{ij} = M + B_i + T_j + e_{ij} \quad (3)$$

donde:

- $Y_{ij}$  : representa a cada observación,
- $M$  : a la media general,
- $B_i$  : al efecto aleatorio de cada bloque.
- $T_j$  : al efecto fijo de cada procedencia,
- $e_{ij}$  : al error residual de cada observación.

De acuerdo con lo anterior la esperanza matemática del cuadrado medio de las fuentes de variación es como se presenta en el Cuadro 4.

En este caso el error entre parcelas está confundido con el residuo y es evidente que el cuadrado medio de éste es el denominador adecuado para probar la significancia tanto de bloques como de tratamientos en la prueba de F.

Cuadro 4. Componentes de la varianza de las variables evaluadas por parcela

Fuente de variación	E(CM)
Bloques	$S_e^2 + S_b^2$
Procedencias	$S_e^2 + F_p^2$
Residuo	$S_e^2$

Para el análisis de la densidad básica de la madera el modelo lineal aditivo es:

$$Y_{ijkl} = M + T_i + A(T)_{ij} + U_k + e_{ijkl} \quad (4)$$

donde

$Y_{ijkl}$  : representa a cada observación,

$M$  : a la media general,

$T_i$  : al efecto fijo de cada procedencia,

$A(T)_{ij}$  : al efecto aleatorio de cada árbol dentro de cada procedencia,

$U_k$  : al efecto fijo de la ubicación de cada muestra,

$e_{ijkl}$  : al error residual de cada observación.

De este modelo, (4), se desprende que el cuadrado medio esperado de las diferentes fuentes de variación se distribuye en la forma que se indica en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Componentes de la varianza de la densidad básica de la madera

Fuente de Variación	E(CM)
Procedencias	$S_e^2 + 2F_u^2 + 4S_a^2 + 52F_p^2$
Arboles en Procedencias	$S_e^2 + 2F_u^2 + 4S_a^2$
Ubicación	$S_e^2 + 2F_u^2$
Residuo	$S_e^2$

Es evidente que el denominador adecuado en la prueba de F para el efecto de las procedencias es el cuadrado medio de los árboles en procedencias y que el cuadrado medio de la ubicación es el denominador correcto, en la prueba de F, para el efecto de los árboles en procedencias.

El modelo lineal aditivo en el análisis del largo de fibra es el siguiente:

$$Y_{ijk} = M + T_i + A(T)_{ij} + e_{ijk} \quad (5)$$

donde:

- $Y_{ijk}$  : representa cada observación,  
 $M$  : a la media general,  
 $T_i$  : al efecto fijo de cada procedencia,  
 $A(T)_{ij}$  : al efecto aleatorio de cada árbol en cada procedencia,  
 $e_{ijk}$  : al error residual de cada observación.

De este modelo, (5), se desprende que los componentes de la varianza se distribuyen según se indica en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Componentes de la varianza del largo de fibra

Fuentes de variación	E(CM)
Procedencias	$S_e^2 + 20S_a^2 + 120 F_p^2$
Arboles en Procedencias	$S_e^2 + 20S_a^2$
Residuo	$S_e^2$

La prueba de F para procedencias se hace usando el cuadrado medio del efecto de árboles en procedencias y ése efecto se prueba con el cuadrado medio del residuo.

### 3.5.2 Problemas de Desbalance en el Ensayo

En el ensayo, dos de las procedencias tienen un número menor de repeticiones, además, en algunas de las parcelas de uno a tres árboles

han muerto. Estos hechos traen problemas de estimación y heterogeneidad del error, lo cual afecta las tasas de prueba del error (Namkoong, 1979). Los problemas de estimación radican en que al faltar algún tratamiento en uno o dos de los bloques se pierde la ortogonalidad, independencia, y existe un sesgo a la hora de calcular, por las fórmulas habituales, el efecto tanto de bloque como de tratamiento (Cox, 1958, Steel y Torrie, 1980). Para resolver el problema de falta de ortogonalidad se usó el procedimiento Harvey del paquete estadístico SAS (Harvey, 1983). Este procedimiento ajusta las medias por mínimos cuadrados, a la hora de aplicar pruebas de comparación múltiple. Se ha propuesto el nombre de Media Marginal Poblacional (M.M.P.) a las medias así ajustadas para enfatizar que estas medias son funciones paramétricas de la población (Searle, et al, 1980).

Se llama la atención enfáticamente respecto a que las pruebas de significancia, desviaciones estándar e intervalos de confianza hechos de estos análisis son aproximaciones, puesto que se está asumiendo que el error experimental de todas las observaciones está normalmente distribuido y esto no es estrictamente cierto (Searle, S.R. et al 1980).

### 3.5.3 Variables categóricas

Se analizó la dominancia del eje principal, la rectitud del fuste y la frecuencia de bifurcación mediante variables categóricas correspondientes a las respectivas calificaciones. El análisis de varianza con medias ajustadas por mínimos cuadrados (M.M.P.) de datos discretos, solamente es apropiado cuando los datos representan diferencias cuantitativas entre las clases (Harvey, 1982). Esto es evidente en el caso de la frecuencia de ramificación. En los otros aspectos se asume que las calificaciones representan diferentes grados cuantificables de dominancia del eje o de acercamiento a una forma ideal del fuste, respectivamente. En el caso de éstas variables se observó una distribución anormal de las frecuencias de los datos por lo que se hizo una transformación a la raíz cuadrada, caso de la dominancia del eje principal, o a la raíz cuadrada de la variable más  $1/2$  para evitar la tendencia sesgada de los datos. Como la variable



supervivencia sigue una distribución binomial y las observaciones se agrupan en uno de los extremos, mayores de 80 por ciento se hizo una transformación angular (arcoseno de la raíz cuadrada de la fracción) que es la sugerida en estos casos (Steel y Torrie, 1980).

#### 3.5.4 Correlación entre edades

Es importante saber qué porcentaje de la variación, en un ensayo de procedencias maduro, puede explicarse por la variación del mismo a edad juvenil. Para esto se correlacionó la altura de los árboles a los tres meses con el diámetro a los 36 meses.

Cada observación se puede expresar como una función lineal como se vió en la sección 3.5.1. Como interesa correlacionar a los individuos es conveniente remover los efectos que puedan sesgar esta correlación. Para esto se remueven los efectos de bloque, procedencia e interacción entre ambos y la correlación se hace con los residuales correspondientes. La remoción se hizo mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS y los coeficientes de correlación se estimaron mediante el procedimiento CORR del mismo paquete (SAS Institute, 1982).

#### 3.5.5 Comparadores de Medias

Por haberse usado M.M.P., en el cálculo de los efectos de bloques y de tratamientos, no es posible emplear comparadores de medias que usen un valor único para comparar todas las medias. Las únicas pruebas disponibles en esta situación son las de Scheffé y Bonferroni (Neter y Wasserman, 1974). Esta última es la más adecuada en éste análisis particular, pues la de Scheffé no mostró suficiente potencia. Para encontrar las diferencias existentes entre medias, según la prueba de Bonferroni, se contrastó cada una de las 28 posibles parejas. Los valores de  $t$  de cada contraste se compararon con el valor de  $t$  correspondiente a un alfa de 0,0039. Este nivel de tolerancia al error tipo uno, permite que el error total acumulado, en todas las comparaciones, sea del 10,8 por ciento, que se acepta como satisfactorio en vista de la cantidad de comparaciones que se está haciendo.

La significancia estadística de la diferencia entre dos medias depende tanto de la diferencia cuantitativa entre ellas como de la magnitud del error estándar de la comparación. Es por esto que algunas comparaciones aparecen como estadísticamente iguales a pesar de que la diferencia entre sus medias sea grande.

### 3.6 Raleo en el ensayo

La decisión de hacer el raleo se basa en el crecimiento que presentan los árboles, las evidencias de competencia que se discutirán en el capítulo de resultados, además de las experiencias señaladas en la literatura.

La hipótesis que soporta este aparte es que existe un método para seleccionar los árboles a raleo en un ensayo de procedencias que permita retener el mejor material, la variabilidad dentro de las procedencias y que no afecte en forma diferente a ninguna procedencia.

Se fijó la intensidad de raleo en un 50 por ciento, atendiendo las características de crecimiento de las procedencias en el sitio y las sugerencias al respecto en la literatura (Lamb, 1970; Woessner y McNabb, 1981). Se evaluaron las cuatro alternativas, respecto a selección de los árboles en el raleo de ensayos propuestas por Barnes y Gibson (1984). En el raleo sistemático se excluyeron del análisis los árboles de uno de por medio en cada parcela. En el caso del raleo diamétrico se mantuvieron los ocho de mayor diámetro en cada parcela. Para simular el raleo silvicultural se seleccionaron en el campo los árboles dentro de una caja de cuatro (retener los dos mejores de cada cuatro), y así asegurar una distribución adecuada del vuelo remanente. Los criterios de selección fueron, en su orden, rectitud, hábito de ramificación o bifurcación y altura. Para evaluar el efecto de cada posible raleo sobre la masa remanente, se compararon las M.M.P., los cuadrados medios del error y el coeficiente de variación de cada una de las variables, calculados una vez que se excluyeron los árboles a raleo.

## 4. Resultados

### 4.1 Supervivencia

El análisis de varianza del porcentaje de supervivencia por parcela indica que el modelo, (2), no es significativo ( $P > 0,425$ ) (Apéndice 10 A), pues ni el efecto de bloques ni el de procedencias explican la variabilidad observada. El porcentaje promedio de supervivencia es de 93 por ciento. Si se incluyen los árboles que fueron replantados, el porcentaje es de 95 por ciento. Estos resultados concuerdan con el comportamiento general de la especie que se observa al visitar las plantaciones de G. arborea en Costa Rica.

### 4.2 Diámetro de los ejes

El análisis de varianza respectivo (Apéndice 11 A), detecta significancia en el efecto de la interacción bloque por procedencia ( $P < 0,007$ ) pero no para el efecto de procedencias ( $P > 0,05$ ). En el Cuadro 7 se presentan las M.M.P. de las diferentes procedencias.

Cuadro 7. Medias marginales poblacionales del diámetro de los ejes

Procedencia	M.M.P. (mm)
BLSF1018	141
DAN.4040	134
DAN.4067	134
D1003/80	126
DAN.4066	118
DAN.4058	107
DAN.4065	104
DAN.4045	100

Nótese que la diferencia entre la M.M.P. de la mejor procedencia y la de la peor es del 41 por ciento. Se supone que debido a la magnitud del error entre parcelas dentro de bloques no se puede detectar estadísticamente las diferencias entre procedencias. En el análisis de varianza realizado a los datos de diámetro medidos cuando

los árboles tenían 18 meses se encuentra diferencias entre procedencias ( $P < 0,05$ ) así como para el efecto de la interacción ( $P < 0,05$ ), véase el Apéndice 12A. En el Cuadro 8 se presentan las M.M.P. de las procedencias agrupadas según la prueba de Bonferroni.

Cuadro 8. Medias marginales poblacionales del diámetro de los ejes a los 18 meses agrupados según Bonferroni 10,8 por ciento

Procedencia	M.M.P. (mm)	Bonferroni
BLSF1018	103	
DAN.4067	100	
DAN.4040	100	
DAN.4066	93	
D1003/80	89	
DAN.4065	83	
DAN.4058	77	
DAN.4045	70	

Se supone que la variable diámetro es muy sensible a las diferencias microambientales entre parcelas de un mismo bloque y que al crecer los árboles aumenta la competencia por los factores limitantes. Uno de estos factores puede ser el espacio para el crecimiento radial, limitado por la presencia de rocas, desigualmente distribuidas dentro de los bloques. Esto explica la significancia de la interacción por el aporte del error por diferencias dentro de bloques. El aumento en el tamaño de los árboles entre los 18 y los 36 meses hace que la competencia sea más intensa, principalmente en las parcelas ocupadas por las procedencias que crecieron más rápido, esto también contribuye a explicar la significancia de la interacción bloque por tratamiento y el hecho de que a los 18 meses se pudiera detectar diferencias entre procedencias y no así a los 36 meses.

De la observación de los Cuadros 7 y 8 se desprende que las procedencias BLSF1018, DAN.4040 y DAN.4067 se destacan como las mejores tanto a los 36 como a los 18 meses. En particular a la edad de 18

meses (Cuadro 8), la procedencia BLSF1018 fue significativamente superior a las DAN.4058 y DAN.4045 y las DAN.4067 y DAN.4040 también difirieron estadísticamente de la DAN.4045. Las procedencias que presentan los diámetros menores evolucionaron en regiones con sequías largas, de cinco a siete meses, en contraste con las procedencias derivadas en cuyas respectivas regiones de origen no hay sequía o ésta es corta, véase Figura 3.

Al correlacionar el diámetro a los 36 meses con la altura a los tres meses se observó un coeficiente de 0,435, que es significativamente diferente de cero ( $P < 0,0001$ ). La variación en altura a los tres meses explica un 19,9 por ciento de la variación del diámetro a los 36 meses. La evaluación temprana de un ensayo similar podría dar un estimado del comportamiento de las procedencias a mayor edad pero éste estimado no sería muy exacto.

#### 4.3 Area basal

Según el análisis de varianza, el área basal de las parcelas, a los 36 meses de edad, muestra diferencias significativas, (Apéndice 14A). para el efecto de procedencias ( $P < 0,011$ ) y el de bloques ( $P < 0,03$ ). En el Cuadro 9 se presentan las M.M.P. de área basal expresada en  $m^2$  por ha.

Cuadro 9. Medias marginales poblacionales de área basal por hectárea agrupadas según Bonferroni 10,8 por ciento

Procedencia	M.M.P. ( $m^2$ /ha)	Bonferroni
DAN.4040	22,52	
BLSF1018	21,35	
DAN.4066	20,62	
DAN.4067	20,47	
D1003/80	19,61	
DAN.4058	14,76	
DAN.4045	14,47	
DAN.4065	13,32	

Nótese que la diferencia en área basal entre las mejores procedencias, DAN.4040 y BLSF1018, y las inferiores, DAN.4058, DAN.4045 y DAN.4065, en promedio es de 48 por ciento. Al observar el orden de las procedencias respecto a las M.M.P. de diámetro y área basal, Cuadros 7 y 9, se observa que el orden es diferente. Aunque el área basal está en función del diámetro de los árboles, en el cálculo de las M.M.P. de diámetro se tomó el de los ejes individuales para determinar el promedio, mientras que para el cálculo de área basal se suma el área basimétrica de los ejes en cada parcela, y cuando hubo más de un eje por bifurcación, se bajó el promedio de diámetro, no así el del área basal, la significancia del efecto del área basal se evaluó respecto al residuo (Cuadro 4) mientras que para el diámetro se determinó respecto a la interacción (Cuadro 3). El área basal indica un buen crecimiento, por unidad de superficie, de las mejores procedencias, y por lo tanto muy buenas perspectivas económicas para ellas.

De acuerdo a la fórmula:

$$V = 1/2 G * h \quad (6)$$

para el cálculo de madera de tronco y ramas mayores de dos centímetros de diámetro, en la que:

V: corresponde al volumen por hectárea,

G: corresponde a la M.M.P. de área basal y

h: a la M.M.P. de la altura de la procedencia correspondiente, (Cuadro 11)

El volumen y rendimiento, así estimado, de las diferentes procedencias es el que se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Rendimientos en volumen de las diferentes procedencias

Procedencia	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Rendimiento (m <sup>3</sup> /ha/año)
DAN.4040	146	49
BLSF1018	140	47
DAN.4067	134	45
DAN.4066	119	40
D1003/80	107	36
DAN.4058	71	24
DAN.4045	64	21
DAN.4065	59	20

Es evidente la diferencia en rendimiento entre las procedencias. Los rendimientos de las procedencias DAN.4040, BLSF1018, DAN.4067, DAN.4066 Y D1003/80 son similares o superiores a los mejores rendimientos observados en sitios de bosque alto, zonas húmedas. En Nigeria, por ejemplo, se reporta un rendimiento de  $31,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  a la edad de ocho años y en Malasia se reportan rendimientos de 36,5, 39,0, 31,0 y  $29,0 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$  a los siete, ocho, nueve y once años respectivamente (Palmer 1973). Aunque no se pueden establecer comparaciones exactas, pues no se conoce la fórmula de cálculo de volumen usada para obtener los datos referidos, se puede inferir que la tasa de crecimiento de los árboles en el ensayo aún no se ha maximizado y que, debido a las condiciones del sitio, se puede esperar que ésta maximización se alcance a una edad más temprana.

#### 4.4 Altura

El análisis de varianza encuentra significancia en los efectos de la interacción bloque por procedencia ( $P < 0,001$ ) y en el de procedencias, ( $P < 0,01$ ). Véase el Apéndice 16 A.

Aparentemente la competencia entre individuos no afectó la expresión de esta variable, como lo hizo en el caso del diámetro, y aunque la interacción bloque por procedencia fue significativa permitió detectar diferencias entre procedencias. Aunque la M.M.P. de las procedencias DAN.4066 y D1003/80 son iguales, ésta última difiere de las tres mayores, mientras que la primera no, esto se debe a que a la hora de determinar las diferencias entre pares influye tanto la M.M.P. como la varianza del contraste.

Es interesante señalar que las cuatro procedencias que tienen las mejores M.M.P. han sido las mejores para cada una de las variables de crecimiento. Posiblemente, en el caso de las procedencias derivadas, DAN.4040 Y BLSF1018, ha existido selección artificial que favoreció a los individuos de más rápido crecimiento. De las otras dos procedencias, una de la India y la otra de Sri Lanka, desafortunadamente no se posee su ubicación geográfica por lo que no se puede relacionar su comportamiento con las condiciones ambientales donde evolucionaron.

Cuadro 11. Medias marginales poblacionales de altura agrupados según Bonferroni 10,8 por ciento

Procedencia	M.M.P. (dm)	Bonferroni
DAN.4067	131	
BLSF1018	131	
DAN.4040	130	
DAN.4066	115	
D1003/80	115	
DAN.4058	96	
DAN.4045	89	
DAN.4065	88	

#### 4.5 Dominancia del Eje Principal

El análisis de varianza determinó que ni el efecto de la interacción ni el de los bloques es significativo ( $P=0,655$  y  $P=0,591$  respectivamente), se encontró significancia en el efecto de las procedencias ( $P<0,0001$ ). Nótese que en las variables de crecimiento el efecto de la interacción fue significativo, y es posible que la característica de dominancia del eje principal está definida por pocos genes y su expresión no se ve tan afectada por cambios microambientales, a diferencia del crecimiento en el que interviene el efecto aditivo de más genes.

Es posible que las frecuencias génicas que gobiernan esta característica hayan sido alteradas en el proceso de selección artificial, en el caso de las procedencias derivadas, BLSF1018 y DAN.4040. En el caso de las procedencias nativas se observa que las que presentan las peores calificaciones son aquellas que evolucionaron en sitios que presentan períodos prolongados de sequía y bajas precipitaciones. Véase la Figura 3 y el Cuadro 1. De acuerdo con esto se puede pensar que las procedencias DAN.4066 y DAN.4067 se originaron en regiones más bien húmedas.



Cuadro 12. Medias marginales poblacionales de dominancia del eje principal agrupadas según Bonferroni 10,8 por ciento

Procedencia	M.M.P	Bonferroni
BLSF1018	4,95	
DAN.4066	4,87	
DAN.4067	4,59	
DAN.4040	4,55	
DAN.4045	4,54	
D1003/80	4,38	
DAN.4058	4,02	
DAN.4065	3,38	

G. arborea es una especie en la que los brotes terminales vegetativos se transforman en ejes florales, (especie hapaxántica). Dicha transformación no es continua y entre la inducción floral y la aparición de las flores, anthesis, el proceso se detiene en algún estado intermedio. Este tipo de floración proléptica es característico de los árboles en los que los picos de floración coinciden con la caída de las hojas.

En las especies hapaxánticas la diferenciación floral, regularmente, se presenta después de detenerse el crecimiento del brote lo que está determinado por factores endógenos y no ambientales. La ausencia de anthesis, en especies con periodicidad anormal en el crecimiento vegetativo, se debe al aborto de la inflorescencia o a un desarrollo incompleto de las yemas florales (Borchert 1983).

En procedencias de regiones secas se puede esperar que el período entre la inducción floral y la anthesis sea más largo o que se presente más frecuentemente. La reiteración o repetición del modelo arquitectural de la especie, es la estrategia adaptativa a circunstancias ambientales más importante que poseen los árboles (Tomlinson

1983). En el caso de G. arborea se supone que la reiteración es el mecanismo para canalizar el exceso de energía, agua y nutrimentos, durante el período en el que se detiene el crecimiento del brote apical. Como consecuencia de una reiteración el eje principal pierde total o parcialmente su dominancia. Las variaciones en el grado de dominancia del eje dependen de la duración del período en que se detiene su actividad, en este tiempo la reiteración ha crecido y puede igualar o suprimir al eje. También afecta a esta variable el hecho de que haya una o dos yemas latentes, en condiciones fisiológicas adecuadas para reiterar, así como el grado de similitud en las condiciones para crecer, de ambas yemas.

#### 4.6 Frecuencia de bifurcación o ramificación

El análisis de varianza indica que el efecto de la interacción bloque por procedencia no es significativo, por otra parte los efectos de bloques y de procedencias sí originan diferencias significativas, ( $P < 0,0001$  y  $P = 0,0012$  respectivamente), véase el Apéndice 21 A.

Cuadro 13. Medias marginales poblacionales de frecuencia de bifurcación o ramificación agrupadas según Bonferroni 10,8 %

Procedencia	M.M.P	Bonferroni
DAN.4058	2,37	
DAN.4065	2,37	
D1003/80	2,16	
DAN.4067	1,84	
DAN.4040	1,75	
DAN.4066	1,75	
BLSF1018	1,59	
DAN.4045	1,42	

En el Cuadro 13 se observa que la procedencia DAN.4058 tiene, la mayor M.M.P. de frecuencia de bifurcaciones o ramificaciones y que es significativamente diferente a las procedencias BLSF1018 y DAN.4045, ésta última proviene de una región con sequía prolongada pero con alta precipitación, según se observa en el Cuadro 1 y en la Figura 3. En el mismo cuadro y figura se puede ver que las procedencias DAN.4058, DAN.4065 y D1003/80 pertenecen a regiones con sequías prolongadas y baja precipitación. Estas procedencias presentan la más pobre M.M.P. de dominancia del eje principal (Cuadro 12) y las más altas M.M.P. de frecuencia de bifurcación (Cuadro 13).

Las ramificaciones o bifurcaciones son el producto de reiteraciones en el árbol, ésta variable se puede explicar de forma similar a la dominancia de eje principal. En el caso de la frecuencia de ramificación o bifurcación se evalúa el número de veces en que ha sucedido una reiteración en el árbol y no el efecto que una de estas reiteraciones tenga en la arquitectura del árbol como fue el caso en la variable anterior.

#### 4.7 Altura de bifurcación o ramificación

En el análisis de varianza respectivo (Apéndice 22 A) se encontró que ni el efecto de la interacción ni el de las procedencias son significativos ( $P=0,319$  y  $P=0,623$  respectivamente). En el Cuadro 14 se presentan las M.M.P. de altura de bifurcación o ramificación por procedencia.

Cuadro 14. Medias marginales poblacionales de altura de bifurcación o ramificación

Procedencia	M.M.P. (dm)
DAN.4065	35
BLSF1018	31
DAN.4040	29
DAN.4067	28
DAN.4058	27
DAN.4045	26
D1003/80	25
DAN.4066	25

Por otra parte, se encontraron diferencias entre bloques ( $P < 0,001$ ).

Cuadro 15. Medias marginales poblacionales de altura de bifurcación o ramificación en los bloques

Bloque	M.M.P (dm)
4	37
3	30
2	28
1	20

En la Figura 6 se observa que la pendiente de las parcelas del bloque uno, son mayores que las del bloque cuatro. En el Cuadro 15 se ve que la M.M.P. de altura de bifurcación o ramificación es mayor en el bloque más plano, cuarto, mientras que en el de mayor pendiente, primero, la altura en cuestión es menor. Cuando la especie crece en campo abierto, con máxima exposición a la luz lateral, desarrolla una copa ancha y tiene ramas gruesas desde baja altura, mientras que cuando crece en plantaciones cerradas la copa es más estrecha y las ramas se presentan a mayor altura (Lamb 1970). Por efecto de la pendiente, en el bloque uno, hay mayor entrada de luz lateral que en el bloque cuatro. Esto puede explicar la diferencia existente entre las M.M.P. respectivas de los bloques. El posible efecto de la pendiente en los hábitos de ramificación de la especie es una limitación de la misma a la hora de plantada pues si se establece en terrenos con pendiente fuerte hay que hacer una inversión extra en podas.

#### 4.8 Rectitud

El análisis de varianza no encuentra significancia para el efecto de la interacción bloque por tratamiento ( $P=0,411$ ) y encuentra que los efectos de bloques y procedencias son significativos ( $P < 0,0001$  en ambos casos) (Apéndice 23 A).

Cuadro 16. Medias marginales poblacionales de rectitud agrupados según Bonferroni 10,8 %

Procedencia	M.M.P	Bonferroni
BLSF1018	5,06	
DAN.4040	4,65	
DAN.4067	4,64	
DAN.4045	4,56	
D1003/80	4,45	
DAN.4066	4,27	
DAN.4058	3,62	
DAN.4065	3,44	

Al presentarse una reiteración, el eje principal tiende a desviarse de su dirección original por efecto de la competencia, por espacio y por luz, entre el eje y la reiteración. La frecuencia de reiteraciones afecta más a la variable rectitud que la dominancia del eje principal, pues la rectitud se evaluó el eje más recto, como potencial de rectitud del árbol (Keiding *et al* 1984). Al aumentar el número de reiteraciones aumentó el de torceduras y por lo tanto, disminuye la calificación del árbol.

Las procedencias de las regiones más secas, DAN.4058 y DAN.4065, presentan la peor forma y son significativamente diferentes al resto. Es posible que ésta característica haya sido modificada a través del proceso de selección artificial, más o menos intenso, al que se pueden haber visto sujetas las procedencias derivadas, BLSF1081 y DAN.4040, que presentan las mejores M.M.P.

#### 4.9 Densidad básica de la madera

El análisis de varianza encontró diferencias entre procedencias, entre árboles dentro de procedencias y en la ubicación de la muestra dentro del árbol, médula o corteza ( $P < 0,0001$  en los tres casos).

La diferencia de la densidad básica de la madera entre las muestras de la parte central del árbol respecto a las de la parte externa que se observó en este ensayo, corresponde a lo observado por otros autores quienes, con el densitómetro de rayos X han encontrado que la densidad de la madera aumenta de la médula hacia la corteza. También concuerda el hecho de que, a pesar de que se haya removido el efecto de las diferencias de los diámetros de los árboles se sigue presentando diferencias en la densidad de la madera (Akachuku 1984 y De Zeeuw 1972).

En el Cuadro 17 se presentan las medias de densidad básica de la madera por procedencia, la media se calculó de las cuatro observaciones por árbol.

Cuadro 17. Medias de densidad básica de la madera agrupadas según Tukey 5%

Procedencia	Media	Tukey
DAN.4058	0,409	
DAN.4065	0,409	
DAN.4040	0,385	
DAN.4066	0,382	
DAN.4045	0,380	
D1003/80	0,367	
BLSF1018	0,365	
DAN.4068	0,352	
DAN.4067	0,333	

Las procedencias DAN.4058 y DAN.4065, de regiones secas, son significativamente superiores al resto. Las procedencias DAN.4067 y DAN.4068, ambas de Sri Lanka, son significativamente iguales entre sí y la primera de ellas es inferior al resto de las procedencias. La procedencia local se ubica en un grupo intermedio. Aunque los valores de densidad no son comparables con los de otros estudios, se observa que éstos valores son similares a los reportados en la literatura (Palmer 1973).

Los valores obtenidos son útiles, para comparar las procedencias en el ensayo. Es prematuro sacar conclusiones sobre calidad de madera tomando en cuenta la edad de la evaluación (3 años) y lo localizado de las muestras dentro del árbol. En evaluaciones futuras donde se pueda trabajar con madera madura y un muestreo destructivo, se podrá tener mejor información sobre la calidad de madera e incluso correlacionar esta con la tasa de crecimiento.

La característica de baja densidad en la especie indica que la proporción entre el ancho del lumen y el ancho total de la fibra, es alto y por lo tanto, en el proceso de elaboración de papel, las fibras colapsan y pueden adherirse mejor, produciendo un papel de excelentes características físicas (Palmer 1973).

#### 4.10 Largo de fibra

En el análisis de varianza (Apéndice 26) se encontró que tanto el efecto de procedencias como el de árboles en procedencias son significativos ( $P=0,0001$  en los dos casos)

Los resultados presentados en el Cuadro 18 evidencian las diferencias entre procedencias, no se observa ninguna relación entre el comportamiento de las procedencias respecto a esta variable y el comportamiento de ellas respecto a las demás variables evaluadas. Aparentemente el largo de fibra no está asociado con la velocidad de crecimiento.

Cuadro 18. Medias del largo de fibra agrupadas según Tukey 5 %

Procedencia	Media (mm)	Tukey
DAN.4040	1,244	
DAN.4045	1,159	
DAN.4066	1,070	
DAN.4067	1,065	
DAN.4065	1,056	
DAN.4058	1,025	
DAN.4068	1,009	
D1003/80	0,984	
BLSF1018	0,927	

Las plantaciones originales de las procedencias derivadas, DAN.4040 y BLSF1018, tuvieron un origen similar (Boshier 1982 y Woessner 1983), sin embargo las medias de largo de fibra de éstas, son diferentes, ésto se puede explicar por las diferencias en el manejo que recibieron las plantaciones de ambas procedencias, y por efecto del tamaño de la muestra o la aleatorización de la misma a la hora de recolectar las semillas para el ensayo.

Una mayor longitud de las fibras es una característica deseable en el proceso de elaboración de papel. El material de las plantaciones de la procedencia local es satisfactorio para la elaboración de papeles absorbentes, pero si se incrementara el largo de fibra promedio en la población local se podría introducir nuevos productos al mercado y aumentar así el volumen de producción.

#### 4.11 Raleo

En el Cuadro 19 se presenta la información de la evaluación estadística de los vuelos remanentes después de realizado cada uno de los posibles raleos, así como del vuelo original.



Para hacer la selección del método de selección de árboles a la hora de hacer el raleo se asume antes que raleo es necesario. En el punto 4.2 se señala el hecho de que el tamaño de los árboles hace que hayan entrado en competencia y esto es evidente al comparar las evaluaciones hechas a los 18 y 36 meses.

Cuadro 19. Medias marginales poblacionales, varianzas y coeficientes de variación de las variables después de cada uno de los posibles raleos

Variable	Estimador	Sin raleo	Raleo Sistem.	Raleo Diamét.	Raleo Silvíc.
Diámetro	M.M.P.	119,5	120,4	147,9	129,7
	Varianza	0,0712	0,0347	0,0145	0,0237
	C.V. %	12,84	9,95	5,55	7,28
Area Basal	M.M.P.	0,2630	0,1386	0,1824	0,1497
	Varianza	0,0023	0,0009	0,0010	0,0009
	C.V. %	19,16	21,07	17,59	19,47
Altura	M.M.P.	110,4	111,0	121,5	116,8
	Varianza	0,0250	0,0190	0,0043	0,0088
	C.V. %	7,77	6,74	3,16	4,55
Dom. Eje	M.M.P.	4,3953	4,1739	4,5479	4,6008
	Varianza	0,1507	0,1635	0,1445	0,1760
	C.V. %	19,51	19,79	17,83	19,56
Rectitud	M.M.P.	4,3224	4,3323	4,3778	4,7399
	Varianza	0,0657	0,0627	0,0508	0,0552
	C.V. %	11,67	11,39	10,21	10,56
Frecuen. Bifurc.o Ramific.	M.M.P.	2,3917	1,9263	2,0977	1,6607
	Varianza	0,1732	0,1579	0,1509	0,2119
	C.V. %	26,91	25,51	24,88	27,72

Al comparar las características de cada uno de los vuelos remanentes y el original, Cuadro 19, se nota que las M.M.P. de las variables indicadoras de crecimiento, son mayores en el vuelo remanente correspondiente al raleo diamétrico, mientras que las M.M.P. correspondientes a las variables de forma del árbol, son mayores en el vuelo remanente que corresponde a un raleo silvicultural. La variación dentro de procedencias, evaluada a través del cuadrado medio del residuo, siempre es mayor en el vuelo remanente del raleo silvi-

cultural que en el del raleo diamétrico y no hay una diferencia clara respecto al vuelo remanente del raleo sistemático. En el raleo silvicultural existe la posibilidad de seleccionar los árboles en forma subjetiva, afectando en diferente forma a las procedencias lo que perjudicaría el ensayo en evaluaciones futuras (Barnes y Gibson, 1984). En los Cuadros 20 y 21 se muestran las M.M.P. de una variable relacionada con el crecimiento, altura, y otra relacionada con la forma del árbol, dominancia del eje principal, para evaluar el efecto de los posibles raleos en el orden de las procedencias de acuerdo a la magnitud de las M.M.P. respectivas.

Cuadro 20. Medias marginales poblacionales de altura vuelo original y posibles vuelos remanentes

Vuelo origin.		Raleo Sistem.		Raleo Diam.		Raleo Silvíc.	
Proced.	MMP (dm)	Proced.	MMP (dm)	Proced.	MMP (dm)	Proced.	MMP (dm)
DAN.4067	131	BLSF1018	135	DAN.4067	141	DAN.4067	138
BLSF1018	131	DAN.4040	133	BLSF1018	140	DAN.4040	137
DAN.4040	130	DAN.4067	130	DAN.4040	140	BLSF1018	135
DAN.4066	115	DAN.4066	113	DAN.4066	128	DAN.4066	125
D1003/80	115	D1003/80	110	D1003/80	121	D1003/80	120
DAN.4058	96	DAN.4058	98	DAN.4058	108	DAN.4058	106
DAN.4045	89	DAN.4065	90	DAN.4065	106	DAN.4045	94
DAN.4065	88	DAN.4045	90	DAN.4045	97	DAN.4065	92

En el vuelo remanente del raleo silvicultural y en el del diamétrico solo un par de procedencias intercambió su posición y las M.M.P. de estas procedencias son muy similares.

En el Cuadro 21 se observa que dos de las procedencias intercambian su posición, después del posible raleo silvicultural, respecto al vuelo original, pero éstas tienen la misma M.M.P., hasta el segundo decimal. En el raleo sistemático hubo mayores cambios debidos a efectos aleatorios.

Cuadro 21. Medias marginales poblacionales de dominancia del eje principal vuelo original y posibles vuelos remanentes

Vuelo Origin.		Vuelo Sist.		Vuelo Diam.		Vuelo Silvíc.	
Proced.	MMP	Proced.	MMP	Proced.	MMP	Proced	MMP
BLSF1018	4,95	BLSF1018	4,69	DAN.4065	5,15	BLSF1018	5,39
DAN.4066	4,87	DAN.4066	4,61	DAN.4066	5,03	DAN.4066	4,94
DAN.4067	4,59	D1003/80	4,50	DLSF1018	4,95	DAN.4067	4,94
DAN.4040	4,55	DAN.4067	4,26	DAN.4040	4,67	DAN.4040	4,93
DAN.4045	4,54	DAN.4040	4,17	DAN.4067	4,59	D1003/80	4,75
D1003/80	4,38	DAN.4045	4,11	D1003/80	4,25	DAN.4045	4,75
DAN.4058	4,02	DAN.4058	3,93	DAN.4058	4,22	DAN.4058	3,86
DAN.4065	3,38	DAN.4065	3,23	DAN.4065	3,63	DAN.4065	3,42

El vuelo remanente después del raleo silvicultural retiene el material más valioso, evaluado por las M.M.P., conserva la variabilidad dentro de procedencias, según el cuadrado medio de los residuos, garantiza una adecuada distribución de los árboles remanentes, gracias a la caja de cuatro y no se afectó a las procedencias en forma diferente, permitiendo que las evaluaciones futuras sean válidas.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Del análisis de los datos obtenidos en el campo y laboratorio y de la información bibliográfica, se concluye que:

- i. Las diferencias fenotípicas observadas entre procedencias se pueden explicar por la existencia de diferencias en las frecuencia génicas que determinan las características evaluadas, excepto la supervivencia y la altura de bifurcación o ramificación. Aparentemente el sitio en que se estableció el ensayo reúne las condiciones necesarias para que crezcan las diferentes procedencias evaluadas.  
La altura de bifurcación o ramificación depende de factores ambientales más que genéticos.
- ii. La presencia de reiteraciones determinan la pérdida de dominancia del eje principal e influye en la pérdida de rectitud de los árboles.
- iii. El orden de las procedencias, de acuerdo a las medias de las variables de crecimiento, es similar al orden que atiende a las medias de las variables de forma. Aparentemente el comportamiento respecto a estas características no está asociado con el referente a la densidad de madera y largo de fibra, tampoco se observó relación entre el comportamiento respecto a éstas dos últimas.
- iv. Las procedencias BLSF1018, DAN.4040 y DAN.4067 presentan las expresiones fenotípicas más deseables, respecto a las variables evaluadas.
- v. Los árboles en el ensayo han alcanzado un tamaño tal que se ha iniciado la competencia por espacio y luz, por lo que es necesario un raleo para poder tener información a largo plazo del comportamiento de las diferentes procedencias bajo las condiciones normales de manejo.

- vi. El raleo silvicultural asegura retener en el ensayo los mejores árboles, la variabilidad dentro de procedencias y una distribución adecuada de los árboles después del raleo y presenta la ventaja de no afectar en forma diferente a ninguna de las procedencias, por lo que el ensayo mantiene validez como tal.

## 5.2 Recomendaciones

- i. Ejecutar un raleo silvicultural en el ensayo.
- ii. Seleccionar dentro del ensayo los mejores árboles de las mejores procedencias y probarlos en un ensayo clonal en varios sitios del país.
- iii. Continuar con las evaluaciones del ensayo, según se plantea en su descripción (Boshier 1982).
- iv. Elaborar y ejecutar un programa de mejora genética en la especie, contemplando la población local y los árboles seleccionados en este ensayo.
- v. Tomar en cuenta la procedencia DAN.4067, si se requiere introducir nueva semilla a largo plazo.

## CITAS BIBLIOGRAFICAS

- A REVISED HANDBOOK TO the flora of Ceylon. 1983. Ed. by M.D. Dassanayake. New Delhi, Amerind Publishing. 530 p.
- AKACHUKU, A.E. 1984. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties of Gmelina arborea. Forest Science (EE.UU.) 30 (2): 275-283.
- ARIMAH, J.O. 1979. Genetic variation in Gmelina arborea. Linn. Mag.Sc. Thesis. Oxford, Inglaterra, University of Oxford. 199 p.
- BARNES, R.D.; GIBSON, G.L. 1984. Experimental design, management and selection in trials of tropical pines. In Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees (1984, Mutare, Zimbabwe). Proceedings. Ed. by R.D. Barnes and G.L. Gibson Oxford, Commonwealth Forestry Institute / Zimbabwe Forestry Commission. pp. 8 - 29.
- BARTHOLOMEW, J. 1950. The advanced atlas of modern geography. New York, McGraw Hill 108 + 47 p.
- BILT, H. Van Der. 1984. Informe de la geología del río Tuis. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 13 p. (mimeografiado)
- BOLSTAD, P.V.; BAWA, K.S. 1982. Self incompatibility in Gmelina arborea L. (Verbenaceae). Silvae Genetica (Alemania) 21 (1): 19 - 21.
- BORCHERT, R. 1983. Phenology and control of flowering in tropical trees. Biotropica (EE.UU) 15 (2): 81 - 89.
- BOSHIER, D.H. 1982. Descripción del ensayo (Experimento 188 DRNR). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 9 p. (mimeografiado).
- CORNER, E.J.H. 1940. Wayside trees of Malaya. Singapore, Government Printing Office. v.1, 777 p.
- COX, D.R. 1958. Planning of experiments. New York, J. Wiley. 308 p.
- DANIDA FOREST SEED CENTRE. 1985. Report on activities in 1984. Circular Letter no. 24. 8 p.
- DARWIN, C.R. 1921. El origen de las especies por medio de la selección natural tr. por Antonio de Zulueta Madrid Tipografía Renovación. 299 p. t. 1
- DE ZEEUW, C.; GRAY, R.L. 1972. Specific gravity variation in Gmelina arborea Roxb. IAWA Bulletin (Holanda) no. 3:3 - 11.

- DICKERSON, G.E. 1962. Implications of genetic - enviromental interaction in animal breeding. *Animal Production (Escocia)* 4(1):47-63.
- EGENTI, L.C. 1983. Gmelina arborea - Initial observations on the international provenance trial. *Silvicultura (Bra.)* 30:161-163.
- EGENTI, L .C.; ODUWAIYE, E.A. 1983. Gmelina arborea - Progress in breeding. *Silvicultura (Bra.)* 30:164-165.
- FOX, J.E.D. 1967. The growth of Gmelina arborea ROXB (Yemane) in Sierra Leone. *Commonwealth Forestry Review (Inglaterra)* 46(1):138-144.
- GHUZNAVI. 1935. The forest of Bengal. Calcutta, -India, Superintendent Government Printing. 120 p.
- GREAVES, A. 1981. Gmelina arborea. *Forestry Abstracts (Inglaterra)* 42(6):237-258.
- HARVEY, W.R. 1982. Least squares analysis of discrete data. *Journal of Animal Science (EE.UU.)* 54(5):1067-1070.
- HARVEY, W.R. 1983. The Harvey procedure. In SAS Institute. *SUGI Supplemental Library User's Guide*. Cary, N.C., EE.UU. p. 75-107.
- HEDEGART, T. 1976. Breeding systems, variation and genetic improvement of teak (Tectona grandis L.f.). In *Tropical Trees - Variation, Breeding and Conservation* Ed. by J. Burley and B.T. Styles London, Academic Press. p. 109-121.
- HUGUET, L. 1982. Que penser de la "disparicion" des forêts tropicales?. *Bois et Forêts des Tropiques (Francia)* no.195:7-22.
- JACKSON, B.D., comp. 1946. *Index Kewensis*. Londres, Oxford University Press. t.1, 1268 p.
- KEIDING, H.; JONES, N.; WEBB, D. 1964. A programe of tree breeding for Nigeria. *Commonwealth Forestry Review (Inglaterra)* 43(4):319-326.
- KEIDING, H.; LAURIDSEN, E.B.; WELLENDORF, H. 1984. Evaluation of a series of teak and gmelina provenance trials: selection of traits, assessment and analysis of observations. In *Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Tress (1984, Mutare, Zimbabwe)*. Proceedings. Ed. by R.D. Barnes and G.L. Gibson. Oxford, Commonwealth Forestry Institute/Zimbabwe Forestry Commission. pp. 30-38.
- KEMPTHORNE, O. 1979. The design and analysis of experiments. New York, R.E Krieger Publishing. 631 p.

- LAMB, A.F.A. 1970. Especies maderables de crecimiento rápido en tierra baja tropical: Gmelina arborea. Boletín Instituto Forestal Latinoamericano (Ven.) no.33/34:21-51.
- LAURIDSEN, E.B. 1967. Gmelina arborea - Ensayos internacionales de proveniencias. Viaje de estudio y recolección de semillas en India, 1967. In Información sobre recursos genéticos forestales. FAO. Forestry Occasional Paper no.6. pp. 24-37.
- MAPA GEOLOGICO DE COSTA RICA. 1982. Hoja CR 2 C.M.G. San José, Dirección de Geología, Minas y Petróleo. Esc. 1:200000.
- MATHESON, A.C.; RAYMOND, C.A. 1984. Provenance X environment interaction; its detection and practical importance and use with particular reference to tropical forestry. In Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees (1984, Mutare, Zimbabwe). Proceedings. Ed. by R.D. BARNES and G.L. Gibson. Oxford, Commonwealth Forestry Institute/Zimbabwe Forestry Commission. p. 81-117.
- MERRILL, E. D. 1923 An enumeration of Phillipine flowering plants. Phillipines. Departmet of Agiculture and Natural Resources, Bureau of Sciences. Publication n.18, v.3, fasc.4. 127 p.
- NAMKOONG, G. 1979. Introduction to quantitative genetics in forestry. US. Department of Agriculture. Forest Service. Technical Bulletin no. 1588. 342 p.
- NAMKOONG, G.; BARNES, R.D.; BURLEY, J. 1980. A philosophy of breeding strategy for tropical forest trees. England. Commonwealth Forestry Institute. Tropical Forestry Papers no.16. 67 p.
- NAMKOONG, G. 1984. Estimating genetic variance components. In Joint Work Conference on Provenance and Genetic Improvement Strategies in Tropical Forest Trees (1984, Mutare, Zimbabwe). Porceedings. Ed. by R.D. Barnes and G.L. Gibson. Oxford, Commonwealth Forestry Institute/Zimbabwe Forestry Commission. p. 637-642.
- NANSON, A. 1972. The provenance seedling seed orchard. Silvae Genetica (Alemania) 21(6):243-249.
- NETER, J.; WASSERMAN, O. 1974 Aplied linear statistical models Homewood Ill. Richard D. Irwin Inc. 841 p.
- PALMER, E.R. 1973 Gmelina arborea as a potential source of hardwood pulp. Tropical Science (INGLATERRA) 15(3):243-259.
- SAS INSTITUTE. 1982. SAS user's guide; statistics. Cary, N.C., EE.UU. 585 p.
- SEARLE, S.R.; SPEED, F.M.; MILLIKEN, G.A. 1980. Population marginal means in the linear model: an alternative to least squares means. American Statistician (EE.UU.) 34(4):216-221.



- STEEL, R.G.; TORRIE, T.H. 1980. Principles and procedures of statistics; a biometrical approach. 2 ed. New York, McGraw-Hill. 633 p.
- STYLES, B.T. 1979. La población base, estudios taxonómicos y biosistemáticos. In Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Comp. por J. Burley y P.J. Wood. Commonwealth Forestry Institute. England Tropical Forest Papers no.10/10A. p. 15-48.
- TOMLINSON, P.B. 1983. Structural elements of the rain forest. In Tropical rain forest ecosystems; structure and function. Ed. by F.B. Goley. New York, Elsevier Scientific Publishing. p. 9-28.
- TRIMEN, H. 1895. Handbook of the flora of Ceylon. London, Dulau and Co. 477 p.
- TROPICAL SOILS. 1984. Ed. by J.R. Landon. New York, Longman Inc. 450 p.
- TROUP, R.S. 1921. The silviculture of indian trees. Oxford, Inglaterra. Clarendon Press. 787 p. vol. 2.
- UNITED STATES. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1965. Manual de levantamiento de suelos. tr. por Juan B. Castillo. Caracas, Venezuela, Ministerio de Agricultura y Cría. 646 p.
- VENKATESH, C.S.; ARYA, R.S.; THAPLIYAL, R.C. 1978 An albin-type natural chlorophyll mutant in Gmelina arborea Roxb. Silvae Genetica (Alemania) 27(1):40-41
- WALTER, H.; LIETH, H. 1967. Klimadiagramm-weltatlas. Jena Veb Gustar Fischer Verlag. pv.
- WOESSNER, R.A. 1983 a. Gmelina arborea - Genetic improvement program at Jari. Silvicultura (Bra.) 30:185 - 187.
- WOESSNER, R.A. 1983 b. Gmelina arborea - Variation in wood density, height and diameter of the international provenance trial at Jari. Silvicultura (Bra.) 30:183- 85.
- WOESSNER, R.A.; McNABB, K.L. 1981. Large scale production of Gmelina arborea Roxb. seed; - a case study. Commonwealth Forestry Review (Inglaterra) 58(2):117-121.

**APENDICES**

Cuadro 1 A. Distribución mensual de la precipitación en el sitio: Finca Buenavista

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	Media
Ene.	218	89	248	452	118	226	302	236
Feb.	512	112	260	150	71	73	258	206
Mar.	151	84	112	372	151	312	52	176
Abr.	110	434	165	312	101	28	34	169
May.	259	262	254	172	297	588	278	301
Jun.	263	320	336	205	366	298	267	294
Jul.	270	180	283	406	613	251	279	326
Ago.	236	338	258	669	443	346	352	377
Set.	314	245	187	737	196	257	227	309
Oct.	231	266	280	383	509	544	211	332
Nov.	429	263	350	691	222	255	143	336
Dic.	252	388	564	271	155	194	314	305
Tot.	3245	2981	3197	4820	3242	3348	2717	3364

Fuente: Registro diario, pluviómetro vivero. Celulosa de Turrialba, S.A.

Cuadro 2 A. Análisis químico del horizonte A, por bloque

B.	Lab.	pH	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	Ca	Mg	Ac.Ext. ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
1	26213	5,75	17,9	1,12	5,6	0,49	14,77	2,7	0,20	4	3	2
2	26214	5,96	13,4	1,01	12,4	0,68	16,79	3,6	0,15	2	4	2
3	26215 26216	6,12	15,4	1,17	21,9	0,64	17,63	2,9	0,13	2	5	2
4	26217	5,96	8,8	0,66	15,3	0,74	15,58	2,8	0,10	5	3	2

## Cuadro 3 A. Descripción del Perfil 01

## A - Información general del sitio del Perfil 01

Clasificado como: Typic Dystrandept  
 Descrito el 16 de marzo de 1986  
 Ubicación: lote n 12 de la finca Buenavista  
 Altitud: 500 msnm  
 Posición fisiográfica: Abanico coluvial situado en la base del escarpe de terrazas de origen tectónico volcánico.  
 Pendiente: 14%.

## B - Descripción del perfil

Horizonte	Profundidad	Descripción
Ah	0-14	Color gris muy oscuro, (10YR 3/1,5 en húmedo); franco (Arena:49,6%, Limo 35,6%, Arc 14,8%); estructura granular y en bloques subangulares fina y mediana, friable en húmedo y ligeramente adhesiva y plástica en mojado; poros muy finos, finos medianos y gruesos; raíces finas y medianas, pocas; límite claro y plano; pH 5,12
Bw	14 54-72	Pardo oscuro (10 YR 3/3, húmedo) franco arcilloso (Arena: 33,6%, Limo: 27,6%, Arcilla: 38,8%); estructura en bloques subangulares fina, mediana y gruesa, desarrollo moderado, firme en húmedo, adhesiva y plástica en mojado; poros muy finos, finos, medianos y gruesos abundantes; raíces ausentes; límite gradual y ondulado, pH 4,9 Presenta + - 10-15% de grava por volumen que corresponde a clase dos (United States. Department of Agriculture, 1965).
C	54 72-150	Pardo amarillento (YR 3 4, húmedo) arcilloso firme en húmedo, adhesiva en mojado poros finos, muy finos medianos y gruesos, abundantes, raíces ausentes presente un 50% de piedras por volumen. Este horizonte no se muestreó.

Cuadro 4 A. Características químicas del suelo: Perfil 01

Hori- zonte	Num. Lab.*	pH NaF	pH KCl	pH H <sup>2</sup> O	M.O. %	Ca ppm	Mg ppm	Ac. Ext.	Al ppm
HA	26382	9,43	5,12	5,32	15,34	14,0	3,9	0,15	0,10
HB	26383	9,89	4,90	5,51	9,65	11,4	2,5	2,20	0,15

\* Laboratorio de suelos del CATIE

Cuadro 5 A. Capacidad de intercambio de cationes: Perfil 01

Horizonte	Num. Lab.*	K	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	C.I.C. ppm
HA	26382	1,95	15,08	3,92	0,34	47,4
HB	26383	0,41	12,98	2,70	0,23	41,7

\* Laboratorio de suelos del CATIE

## Cuadro 6 A. Descripción de suelo: Perfil 02

A - Información del sitio de la muestra 02  
 Clasificado como: Troorthent  
 Descrito: 16 de marzo de 1986  
 Ubicación: Lote número 12 de la finca Buenavista  
 Altitud: 510 m s m  
 Posición fisiográfica: Escarpe de terraza erosionada  
 de origen tectónico volcánico.

## B - Descripción del Perfil 02

Horizonte	Profundidad	Descripción
Ah	0-20	Pardo muy oscuro (10 YR 2,5/2, húmedo); franco (Ar.: 51,6%, Limo 33,6%, Arcilla: 14,8%); estructura granul. coexistiendo con bloques subangulares medianos de moderado desarrollo friable ligeramente adhesivo en húmedo; poros finos medianos y gruesos, abundantes; límite claro y plano pH 5,64
C	20-70+	Pardo oscuro (YR 3/3, húmedo) presenta más de 70% de piedras por volumen de diámetros 20,50, 100 cm, clase 5 (AC). Este horizonte no se muestreó.



Cuadro 7 A. Características químicas del suelo: perfil 02

Horizonte	Num. Lab.*	pH NaF	pH KCl	pH H <sup>2</sup> O	M.O. M.O.	Ca ppm	Mg ppm	Ac. Ext.	Al ppm
HA	26384	9,30	5,29	5,64	14,2	18,0	3,4	0,15	0,10

Cuadro 8 A. Capacidad de intercambio de cationes del Perfil 02

Horizonte	Num. Lab.*	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	C.I.C
HB	26384	1,50	24,92	4,1	0,36	60

\* Laboratorio de suelos del CATIE

Cuadro 9 A. Arboles replantados en el ensayo

Bloque	Procedencia	Número de Arbol
1	BLSF1018	08
1	BLSF1018	14
2	DAN.4058	07
2	DAN.4058	10
2	DAN.4066	09
3	DAN.4065	02
3	DAN.4065	06
3	D1003/80	01
3	D1003/80	04
4	D1003/80	10
4	D1003/80	13
4	D1003/80	16

Cuadro 10 A. Análisis de varianza de la supervivencia.  
Procedimiento general de modelos lineales

Fuente de variación	Gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P(>F)
Modelo	10	0,449685	0,0450	1,08	0,4253
Residuo	18	0,75002	0,0417		
Total	28	1,199707			
Bloques	3	0,228091	0,2280	1,82	0,1788
Procedencias	7	0,198218	0,0283	0,68	0,6875

Coefficiente de variación 14,74 %

Cuadro 11 A. Análisis de variancia del logaritmo del diámetro de los ejes.  
Procedimiento Harvey

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p > F
Total	523	2288,009830			
Reducción	29	2270,817336	78,304046	2249,047	
Media General	1	2011,506356	2011,506356	57797,556	0,0000
Procedencia	7	1,272531	0,181790	2,554	> 0,05
Bloque	3	0,273756	0,091252	-	-
Bloque x Procedencia	18	1,281294	0,071183	2,045	0,0069
Residuo	494	17,192494	0,034803		

Cuadro 12 A. Análisis de variancia del logaritmo del diámetro de los ejes a 18 meses de edad. Procedimiento Harvey

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Total	520	1999,693769			
Reducción	29	1991,095860	68,658478	3920,873	
Media General	1	1700,961080	1700,961080	97136,628	0,0000
Procedencias	7	1,301796	0,185971	5,31	P<0,05
Bloques	3	0,264527	0,088176	-	-
Bloque x procedencia	18	0,630013	0,035001	1,999	0,0087
Residuo	491	8,597909	0,017511	-	-

Cuadro 13 A. Comparación de pares de medias marginales poblacionales del diámetro a 18 meses de edad. Bonferroni 10,8 por ciento.  $t(0,002,18) = 3,590$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	0,4581	
BLSF1018	DAN.4945	4,2630	*
BLSF1018	DAN.4058	3,9697	*
BLSF1018	DAN.4065	2,6223	
BLSF1018	DAN.4066	1,4715	
BLSF1018	DAN.4067	0,4346	
BLSF1018	D1003/80	3,1112	
DAN.4040	DAN.4045	3,9710	*
DAN.4040	DAN.4058	3,5977	*
DAN.4040	DAN.4065	2,2618	
DAN.4040	DAN.4066	1,0354	
DAN.4040	DAN.4067	0,0119	
DAN.4040	D1003/80	2,5337	
DAN.4045	DAN.4058	1,0379	
DAN.4045	DAN.4065	1,7960	
DAN.4045	DAN.4066	3,1783	
DAN.4045	DAN.4067	3,9177	*
DAN.4045	D1003/80	3,5042	
DAN.4058	DAN.4065	0,9375	
DAN.4058	DAN.4060	2,5974	
DAN.4058	DAN.4067	3,5191	
DAN.4058	D1003/80	2,8091	
DAN.4065	DAN.4066	1,3759	
DAN.4065	DAN.4067	2,2295	
DAN.4065	D1003/80	1,0816	
DAN.4066	DAN.4067	1,0194	
DAN.4066	D1003/80	1,0051	
DAN.4067	D1003/80	2,4441	

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.

Cuadro 14 A. Análisis de varianza del área basal por parcela

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Total	29	2,241674			
Reducción	11	2,200620	0,200056	87,713	
Media General	1	1,834640	1,834640	804,382	0,0000
Procedencias	7	0,059960	0,008566	3,756	0,0111
Bloque	3	0,025482	0,008494	3,724	0,0304
Residuo	18	0,041055	0,002281	-	-

Cuadro 15 A. Comparación pares medias marginales poblacionales del área basal por parcela. Bonferroni 10,8 %  
 $t_{(0,002,18)} = 3,590$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	0,497	
BLSF1018	DAN.4045	2,337	
BLSF1018	DAN.4058	2,811	
BLSF1018	DAN.4065	3,135	
BLSF1018	DAN.4066	0,312	
BLSF1018	DAN.4067	0,375	
BLSF1018	D1003/80	1,961	
DAN.4040	DAN.4045	2,733	
DAN.4040	DAN.4058	3,308	
DAN.4040	DAN.4065	3,590	*
DAN.4040	DAN.4066	0,809	
DAN.4040	DAN.4067	0,872	
DAN.4040	D1003/80	2,702	
DAN.4045	DAN.4058	0,098	
DAN.4045	DAN.4065	0,376	
DAN.4045	DAN.4066	2,089	
DAN.4045	DAN.4067	2,039	
DAN.4045	D1003/80	1,729	
DAN.4058	DAN.4065	0,563	
DAN.4058	DAN.4066	2,499	
DAN.4058	DAN.4067	2,436	
DAN.4058	D1003/80	2,227	
DAN.4065	DAN.4066	2,849	
DAN.4065	DAN.4067	2,792	
DAN.4065	D1003/80	2,748	
DAN.4066	DAN.4067	0,063	
DAN.4066	D1003/80	1,496	
DAN.4067	D1003/80	1,403	

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.



Cuadro 16 A. Análisis de varianza del logaritmo de la altura. Procedimiento Harvey

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Total	439	1859,126334			
Reducción	29	1855,438159	63,980626	7112,477	
Media General	1	1648,064181	1648,064181	183208,874	0,0000
Procedencias	7	1,790138	0,255734	10,229	P<0,05
Bloques	3	0,107709	0,035903	-	-
Bloque x procedencia	18	0,449839	0,024991	2,778	0,0001
Residuo	410	3,688175	0,008996	-	-

Cuadro 17 A. Comparación pares medias marginales poblacionales del logaritmo de la altura. Bonferroni 10,8 %  
 $t_{(0,002,18)} = 3,590$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	0,126	
BLSF1018	DAN.4045	4,429	*
BLSF1018	DAN.4058	4,666	*
BLSF1018	DAN.4065	5,482	*
BLSF1018	DAN.4066	2,015	
BLSF1018	DAN.4067	0,030	
BLSF1018	D1003/80	3,821	*
DAN.4040	DAN.4045	4,390	*
DAN.4040	DAN.4058	4,622	*
DAN.4040	DAN.4065	5,457	*
DAN.4040	DAN.4066	1,924	
DAN.4040	DAN.4067	0,156	
DAN.4040	D1003/80	3,752	*
DAN.4045	DAN.4058	0,794	
DAN.4045	DAN.4065	0,023	
DAN.4045	DAN.4066	2,916	
DAN.4045	DAN.4067	4,452	*
DAN.4045	D1003/80	3,246	
DAN.4058	DAN.4065	1,217	
DAN.4058	DAN.4066	2,723	
DAN.4058	DAN.4067	4,695	*
DAN.4058	D1003/80	5,125	*
DAN.4065	DAN.4066	3,722	*
DAN.4065	DAN.4067	5,509	*
DAN.4065	D1003/80	4,472	*
DAN.4066	DAN.4067	2,045	
DAN.4066	D1003/80	0,887	
DAN.4067	D1003/80	3,865	*

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.

Cuadro 18 A. Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la dominancia del eje principal. Procedimiento Harvey

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Total	439	2016,000000			
Reducción	29	1954,225644	67,387091	447,252	
Media General	1	1735,428923	1735,428923	11518,143	0,0000
Procedencias	7	5,263408	0,751915	4,991	0,0000
Bloques	3	0,244145	0,081382	0,540	0,6550
Bloque x procedencia	18	2,413764	0,134098	0,890	0,5912
Residuo	410	61,774356	0,150669	-	-

Cuadro 19 A. Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de la dominancia del eje. Bonferroni 10,8 %.  $t(0,002,00) = 3,063$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	1,292	
BLSF1018	DAN.4045	1,012	
BLSF1018	DAN.4058	3,072	*
BLSF1018	DAN.4065	4,930	*
BLSF1018	DAN.4066	0,245	
BLSF1018	DAN.4067	1,145	
BLSF1018	D1003/80	2,663	
DAN.4040	DAN.4045	0,029	
DAN.4040	DAN.4058	1,840	
DAN.4040	DAN.4065	3,838	*
DAN.4040	DAN.4066	1,061	
DAN.4040	DAN.4067	0,127	
DAN.4040	D1003/80	0,798	
DAN.4045	DAN.4058	1,372	
DAN.4045	DAN.4065	3,061	
DAN.4045	DAN.4066	0,833	
DAN.4045	DAN.4067	0,125	
DAN.4045	D1003/80	0,498	
DAN.4058	DAN.4065	2,117	
DAN.4058	DAN.4066	2,870	
DAN.4058	DAN.4067	1,932	
DAN.4058	D1003/80	1,911	
DAN.4065	DAN.4066	4,770	*
DAN.4065	DAN.4067	3,890	*
DAN.4065	D1003/80	4,693	*
DAN.4066	DAN.4067	0,916	
DAN.4066	D1003/80	2,359	
DAN.4067	D1003/80	0,960	

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.

Cuadro 20 A. Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la frecuencia de bifurcaciones o ramificaciones mas 1/2. Procedimiento Harvey

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Total	439	1151,500000			
Reducción	29	1080,474585	37,257744	215,073	
M.M.P.	1	944,335677	944,335677	5451,255	0,0000
Procedencias	7	4,242186	0,606027	3,498	0,0012
Bloques	3	1,658761	1,658761	9,575	0,0000
Bloque x procedencia	18	4,015237	0,223069	1,288	0,1913
Residuo	410	71,025415	0,173233	-	-

Cuadro 21 A. Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de frecuencia de bifurcación o ramificación más 1/2. Bonferroni 10,8 %  
 $t(0,002,00) = 3,063$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	0,688	
BLSF1018	DAN.4045	0,605	
BLSF1018	DAN.4058	3,219	*
BLSF1018	DAN.4065	2,934	
BLSF1018	DAN.4066	0,609	
BLSF1018	DAN.4067	1,083	
BLSF1018	D1003/80	1,948	
DAN.4040	DAN.4045	1,143	
DAN.4040	DAN.4058	2,590	
DAN.4040	DAN.4065	2,357	
DAN.4040	DAN.4066	0,078	
DAN.4040	DAN.4067	0,414	
DAN.4040	D1003/80	0,972	
DAN.4045	DAN.4058	3,095	*
DAN.4045	DAN.4065	2,981	
DAN.4045	DAN.4066	1,081	
DAN.4045	DAN.4067	1,444	
DAN.4045	D1003/80	2,155	
DAN.4058	DAN.4065	0,005	
DAN.4058	DAN.4066	2,656	
DAN.4058	DAN.4067	2,141	
DAN.4058	D1003/80	2,839	
DAN.4065	DAN.4066	2,418	
DAN.4065	DAN.4067	1,950	
DAN.4065	D1003/80	2,478	
DAN.4066	DAN.4067	0,488	
DAN.4066	D1003/80	1,079	
DAN.4067	D1003/80	0,337	

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.

Cuadro 22 A. Análisis de varianza del logaritmo de la altura de bifurcación o ramificación

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p:>F
Total	377	822,117437			
Reducción	29	785,029269	27,069975	253,999	
Media General	1	700,397752	700,397752	6571,865	0,0000
Procedencias	7	0,565183	0,080740	0,758	0,6233
Bloques	3	3,110932	1,036977	9,730	0,0000
Bloque x procedencia	18	2,171166	0,120620	1,132	0,3190
Residuo	348	37,088168	0,106575	-	-

Cuadro 23 A. Análisis de varianza de la raíz cuadrada de la rectitud más 1/2

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	p:>F
Total	439	2149,500000			
Reducción	29	2122,567075	73,191968	1114,202	
Media General	1	1904,056686	1904,056686	28985,461	0,0000
Procedencias	7	5,855459	0,836494	12,734	0,0000
Bloques	3	5,664380	1,888127	28,743	0,0000
Bloque x procedencia	18	1,232974	0,068499	1,043	0,4100
Residuo	491	26,932925	0,065690	-	-



Cuadro 24 A. Comparación de pares de medias marginales poblacionales de la raíz cuadrada de rectitud más 1/2. Bonferroni 10,8 %.  $t(0,002,00) = 3,063$

Y1	Y2	T	Diferencias
BLSF1018	DAN.4040	1,953	
BLSF1018	DAN.4045	1,785	
BLSF1018	DAN.4058	6,982	
BLSF1018	DAN.4065	7,226	
BLSF1018	DAN.4066	3,746	
BLSF1018	DAN.4067	1,939	
BLSF1013	D1003/80	5,148	
DAN.4040	DAN.4045	0,302	
DAN.4040	DAN.4058	5,161	
DAN.4040	DAN.4065	5,571	
DAN.4040	DAN.4066	1,834	
DAN.4040	DAN.4067	0,021	
DAN.4040	D1003/80	2,366	
DAN.4045	DAN.4058	3,631	*
DAN.4045	DAN.4065	4,197	*
DAN.4045	DAN.4066	1,088	
DAN.4045	DAN.4067	0,283	
DAN.4045	D1003/80	1,192	
DAN.4058	DAN.4065	0,847	
DAN.4058	DAN.4066	3,347	*
DAN.4058	DAN.4067	5,051	*
DAN.4058	D1003/80	5,242	*
DAN.4065	DAN.4066	3,915	*
DAN.4065	DAN.4067	5,463	*
DAN.4065	D1003/80	5,797	*
DAN.4066	DAN.4067	1,780	
DAN.4066	D1003/80	0,359	
DAN.4067	D1003/80	2,263	

\* Indica que el valor de t calculado es mayor que el valor crítico de t.

Cuadro 25 A. Análisis de varianza de la densidad básica de la madera.  
 Procedimiento general de modelos lineales

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Modelo	117	0,942911	0,008486	6,74	0,0001
Residuo	350	0,440726	0,001259		
Total	467	1,433637	-		
Procedencias	8	0,259863	0,032482	25,80	0,0001
Arboles en proced.	148	0,637551	0,005903	4,69	0,0001
Ubicación	1	0,095496	0,095496	75,84	0,0001

Cuadro 26 A. Análisis de varianza del largo de fibra. Procedimiento general de modelos lineales

Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P:>F
Modelo	53	13,239563	0,2498	10,26	0,0001
Residuo	1026	24,986657	0,0244		
Total	1079	38,22622	-		
Procedencias	8	8,539588	1,0674	10,22	0,0001
Arboles en proced.	45	4,699975	0,1044	4,29	0,0001